



Руководство по лазерным излучателям в аспекте безопасности полетов

**Агентство Гражданской Авиации
Республики Узбекистан**

Код документа:

Редакция / Ревизия:

Дата вступления в силу:

ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

Примечание. Приведенный ниже перечень определенных терминов основан на прагматическом подходе к проблеме. Поэтому в словарь включены только те термины, которые упоминаются в настоящем руководстве. Словарь не предназначен для использования в качестве специализированного словаря по всей лазерной технике в целом.

Поглощение. Переход энергии излучения в другую форму энергии (обычно в теплоту) вследствие взаимодействия с материалом.

Предельно допустимая интенсивность излучения (ПДИИ (AEL)). Максимальная допустимая мощность или энергия лучеиспускания, установленная для конкретного класса лазеров.

Допустимое излучение. Оптическое излучение, воздействию которого можно подвергать кожу или глаза человека в обычной практике.

Актиничное излучение. Электромагнитное излучение в видимой и ультрафиолетовой областях спектра, способное вызвать фотохимические изменения.

Контрольная точка аэродрома (КТА). Обозначенное географическое местоположение аэродрома.

Остаточное изображение. Изображение, сохраняющееся в поле зрения после воздействия яркого света.

Ослабление. Уменьшение мощности или энергии лазерного луча по мере его прохождения через поглощающую или рассеивающую среду.

Средняя мощность. Общее количество поглощенной энергии излучения деленное на время воздействия излучения.

Реакция неприятия. Смыкание век или движение головы, чтобы избежать воздействия вредного возбудителя или яркого света. В стандартах по технике безопасности при работе с лазерными приборами временное значение реакции неприятия (включая время рефлекторного моргания) принято равным 250 миллисекундам (0,25 с).

Луч. Совокупность или пучок единичных лучей, которые могут быть параллельными, расходящимися или сходящимися.

Диаметр луча. В настоящем руководстве под диаметром луча понимается расстояние по радиальной прямой,

проходящей через центр лазерного луча между точками, где величина энергетической освещенности составляет 1/е часть энергетической освещенности (или облучения для оптического квантового генератора) в центре лазерного луча.

Шлейф луча. Минимальный размер поперечного сечения луча.

Буферный угол. Угол, добавляемый к углу расхождения луча или подразумеваемому полю лазерной проекции для обеспечения защитной зоны.

Буферная зона. Объем воздуха, окружающего лазерный луч, все потенциальные местоположения лазерного луча и все рассеиваемые и отражаемые отблески, где максимально допустимая мощность облучения (МДМО (MPE)) лазером или уровни видимой интерференции превышены. Буферная зона охватывает угол расхождения или сканирования лазерного луча, плюс буферный угол, а также полную дальность распространения лазерного луча до точки, где МДМО (MPE) или уровень любой соответствующей видимой интерференции не превышает заданного значения. Часть этого объема может отсекается рельефом местности или препятствиями на пути лазерного луча.

Резонатор. Оптическое устройство в лазерном эмиттере, обычно состоящее из двух или большего количества зеркал с высокой отражающей способностью, отражающее излучение в обратном направлении, внутрь активного материала лазера.

Побочное излучение. Любое электромагнитное излучение, испускаемое лазером, кроме самого лазерного луча, необходимое для работы лазерного эмиттера, или являющееся следствием его работы.

Коллимированный луч. Испускаемый луч с очень малым значением расхождения или схождения и поэтому рассматриваемый как пучок практически параллельных единичных лучей.

Непрерывное излучение (НИ (CW)). Выходной сигнал лазерного устройства, работающего скорее в непрерывном, чем в импульсном режиме. В стандартах по технике безопасности при работе с лазерными приборами, лазер, генерирующий выходной сигнал в виде незатухающих колебаний в течение периода времени, превышающего 0,25 с, определяется как НИ (CW) лазер, т. е. лазер непрерывного излучения.

Критический уровень. Минимальное эффективное облучение видимым лазерным лучом, которое может оказать критическое влияние на выполнение оперативной задачи вследствие вызванного им неустойчивого зрительного восприятия.

Дифракция. Частичное смещение луча, определяемое волновой природой излучения и возникающее при столкновении луча с кромкой непрозрачного препятствия.

Диффузное (рассеянное) отражение. Составная часть отражения от поверхности, на которой не может возникнуть виртуальное изображение, как это обычно происходит при отражении от плоских окрашенных или грубо обработанных поверхностей. Матовая поверхность отражает лазерный луч во многих направлениях. При наблюдении диффузного отражения от матовой поверхности, на сетчатке глаза может возникнуть либо уменьшенное, либо увеличенное изображение, в зависимости от расстояния, с которого производится наблюдение, и размеров освещенной поверхности.

Расхождение (...). В настоящем руководстве под расхождением понимается увеличение диаметра лазерного луча на расстоянии от выходной апертуры, определяемому по полному углу в точках, где величина энергетической освещенности (или облученность для оптического квантового генератора), составляет $1/e$ часть её максимального значения.

Электромагнитное излучение. Поток энергии, состоящий из ортогонально колеблющихся электрических и магнитных полей. Электромагнитное излучение включает оптическое излучение, рентгеновские лучи и радиоволны.

Электромагнитный спектр. Диапазон частот или длин волн, в котором распространяются электромагнитные излучения. Электромагнитный спектр начинается с излучения, имеющего наименьшую длину волн (гамма- и рентгеновские лучи), включает диапазон видимого излучения, микроволновый диапазон и заканчивается диапазоном более длинных телевизионных и радио волн.

Энергия. Способность совершать работу. Понятие энергии широко используется для характеристики выходного сигнала оптического квантового генератора и обычно выражается в джоулях (J).

Возбужденное состояние. Состояние атома или молекулы, при котором он (она) находится на более высоком энергетическом уровне, чем в обычном, спокойном состоянии.

Длительность воздействия. Продолжительность импульса или серии, или последовательности импульсов,

или испускания лазерного излучения при попадании лазерного луча на человеческое тело.

Кратковременная слепота. Утрата способности видеть (на короткий или продолжительный период времени), вызванная воздействием яркого света на глаз и сохраняющаяся после прекращения освещения.

Свободный радикал. Атом или группа атомов в переходном химическом состоянии, содержащий (содержащие) по крайней мере один непарный электрон. Свободные радикалы могут образовываться внутри биологической ткани или попадать в нее, причиняя вред.

Гауссово сечение луча. Колоколообразная форма поперечного сечения лазерного луча при работе лазера в простейшем режиме.

Ослепление. Временное нарушение зрительного восприятия, вызванное появлением яркого света (например, дальнего света фар встречного автомобиля) в поле зрения наблюдателя. Ослепление не носит характера биологического поражения зрения и продолжается лишь в течение присутствия яркого света в поле зрения наблюдателя.

Опасность. То, что потенциально способно причинить вред людям, имуществу или окружающей среде.

Опасная зона. Пространство, в пределах которого уровень излучения при работе лазерного излучателя превышает соответствующую предельную мощность облучения. См. также *Расчетная опасная зона (PO3 (NHZ))*.

Инфракрасное излучение. В настоящем руководстве под этим термином подразумевается электромагнитное излучение с длиной волны в диапазоне от 700 нм до 1 мм.

Правила полетов по приборам (ППП (IFR)). Свод правил, регламентирующих выполнение полетов в приборных метеорологических условиях.

Блокировка. См. *Автоблокировка*.

Невидимый лазерный луч. Лазерное излучение с длиной волны либо менее 400 нм, либо более 700 нм. Источники лазерного излучения с характеристиками, близкими к указанным пределам, способны оказывать визуальное возбуждающее воздействие.

Энергетическая освещенность (ЭО (E)). Мощность излучения на единицу площади, выраженная в ваттах на квадратный сантиметр (W/cm^2) или в ваттах на квадратный метр (W/m^2).

Лазер. 1) Аббревиатура слов английской фразы: "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation", что означает "усиление света в результате вынужденного излучения". 2) Устройство, вырабатывающее интен-

сивный, когерентный, направленный поток оптического излучения в результате вынужденной эмиссии фотонов вследствие электронных или молекулярных переходов на более низкие энергетические уровни.

Критическая зона полетов (КЗП (LCFZ)). См. *Зоны полетов, а).*

Свободная зона полетов (СЗП (LFFZ)). См. *Зоны полетов, б).*

Уровень отсутствия излучения. Максимальный уровень видимого оптического излучения, при котором не ожидается какое-либо воздействие этого излучения на человека при выполнении им требуемой операции.

Уязвимая зона полетов (УЗП (LSFZ)). См. *Зоны полетов, с).*

Лазерный излучатель (эмиттер). То же, что *Лазер 2.*

Сотрудник службы лазерной безопасности. Лицо, компетентное в оценке степени лазерной опасности и ее контроле, и несущее ответственность по надзору за контролем возникновения такой опасности.

Источник лазерного излучения. См *Источник.*

Свет (видимое излучение). Тип электромагнитного излучения, способного оказать визуальное возбуждающее воздействие на человеческий глаз. Диапазон волн этого электромагнитного излучения находится в пределах приблизительно от 400 до 700 нм (между ультрафиолетовым и инфракрасным участками спектра). Источники лазерного излучения с эквивалентной мощностью, несколько выходящей либо за нижний, либо за верхний пределы указанного диапазона могут оказаться способными оказать менее интенсивное визуальное возбуждающее воздействие.

Предельная апертура (D_f). Диаметр окружности, по точкам которой усредняется величина энергетической освещенности или облученности для сравнения с максимально допустимой величиной мощности облучения (МДМО (MPE)).

Местная рабочая группа по лазерному излучению (МРГЛИ (LLWG)). Группа специалистов, созданных для оказания помощи в оценке потенциального воздействия лазерных излучений на экипажи воздушных судов вблизи зон предполагаемой лазерной активности. Среди членов группы, помимо других специалистов, могут быть служащие вышки УВД аэродрома, центра по контролю за территорией, представители администрации аэродрома, эксплуатанты воздушного пространства, представители местных властей, военные, квалифицированные специалисты по конкретным вопросам, изготовители лазерной техники и лица, заявляющие о намерении использовать лазеры.

Максимально допустимая мощность облучения (МДМО (MPE)). Принятая на международном уровне максимальное значение мощности лазерного излучения, которое может воздействовать на людей без риска причинения биологического вреда зрению или коже.

Противодействие. Проведение ограничительных мероприятий в целях нейтрализации вредного влияния лазерного луча (лазерных лучей) на безопасность полетов.

Номинальная опасная зона (НОЗ (NHZ)). Пространство, внутри которого уровень прямого, отраженного или рассеянного излучения в процессе работы лазерного излучателя превышает соответствующую максимально допустимую мощность облучения МДМО (MPE). Уровни облученности за границей номинальной опасной зоны ниже принятого значения МДМО (MPE).

Номинальная дистанция оптического поражения (НДОП (NOHD)). Расстояние вдоль оси лазерного луча, за которым соответствующая максимально допустимая мощность облучения не превышает заданной величины (т. е. безопасная дистанция наблюдения). Эквивалентный термин для облученности оголенной кожи человека - "дистанция кожного поражения".

Зона нормальных полетов (ЗНП (NFZ)). См. *Зоны полетов, д).*

Оптическая плотность (ОП (OD)). Физическое свойство материала, выражающее количественное значение степени ослабления лазерного луча.

Оптическое излучение. Часть электромагнитного спектра, включающая области инфракрасного, видимого и ультрафиолетового излучений.

Фотон. В квантовой механике - наименьшая частица оптического излучения.

Точность наведения. Максимальное угловое значение расчетной ошибки направления луча во всех планируемых вариантах применения лазерного излучателя.

Инверсия заселенности. Необходимое условие для возникновения явления усиления света, вследствие которого количество атомов в возбужденном состоянии превышает количество атомов, находящихся на более низком энергетическом уровне.

Мощность. Интенсивность испускания, преобразования или восприятия энергии. Измеряется в ваттах (количество джоулей в секунду).

Заинтересованная сторона. Юридическое лицо (корпорация, компания, индивидуум), намеревающееся использовать работу лазерного излучателя на открытом воздухе в определенное время и в конкретном месте.

Зоны полетов. Воздушное пространство, специально ограниченное с целью уменьшения опасного воздействия лазерного излучения.

а) **Критическая зона полетов (КЗП (LCFZ)).** Воздушное пространство вблизи аэродрома, но за пределами СЗ (LFFZ), где энергетическая освещенность ограничена уровнем, при котором возникновение ослепляющих эффектов маловероятно.

в) **Свободная зона полетов (СЗП (LFFZ)).** Воздушное пространство в непосредственной близости от аэродрома, где энергетическая освещенность ограничена уровнем, который не должен вызывать каких-либо нарушений зрения.

с) **Уязвимая зона полетов (УЗП (LSFZ)).** Воздушное пространство за пределами СЗП (LFFZ) и КЗП (LCFZ) где энергетическая освещенность ограничена уровнем, при котором возникновение кратковременной слепоты или эффекта остаточных изображений маловероятно. УЗП (LSFZ) не обязательно является смежной с другими зонами полетов.

д) **Зона нормальных полетов (ЗНП (NFZ)).** Воздушное пространство, не определяемое как СЗП (LFFZ), КЗП (LCFZ) или УЗП (LSFZ), но которое должно быть защищено от лазерного излучения, способного причинить ущерб зрению.

Оптический квантовый генератор. Лазер, выдающий энергию своего излучения в виде отдельных импульсов, продолжительность менее 0,25 с. См. **Лазер повторяющихся импульсов.**

Длительность импульса. Длительность лазерного импульса, обычно измеряемая как временной интервал между точками половинной мощности на передней и задней кромках импульса

Частота повторения импульсов (ЧПИ (PRF)). Количество импульсов, генерируемых лазером дольше определенного периода времени, отнесенное к продолжительности этого периода. Для последовательности равномерных импульсов, длящейся дольше 1 с, частота повторения импульсов равна числу импульсов, излученных лазером в течение 1 с. Единица измерения - герц (Гц).

Радиян. Единица углового измерения, определяемая как центральный угол, соответствующий дуге, длина которой равна радиусу окружности. 1 радиан = 57,3 градусов; 2π радиан = 360 градусов.

Энергия излучения (Q). Количество испущенной, переданной или воспринятой энергии в виде излучения. Единица измерения - джоуль (Дж (J)).

Энергетическая освещенность (H). Энергия лазерного луча, приходящаяся на единицу площади и выражающаяся в джоулях на квадратный сантиметр ($\text{Дж}/\text{см}^2$ (J/cm^2)) или в джоулях на квадратный метр ($\text{Дж}/\text{м}^2$ (J/m^2)).

Мощность излучения (Ф). Мощность испускаемого, передаваемого или воспринимаемого излучения. Единица измерения - ватт (Вт (W)).

Отражение. Отклонение излучения под углом падения на поверхность. Отражение может быть диффузным или зеркальным. См. **Диффузное отражение** и **Зеркальное отражение.**

Рефракция. Изменение направления светового луча при его переходе из одной среды в другую.

Лазер повторяющихся импульсов. Лазер, генерирующий многократно повторяющиеся импульсы излучаемой энергии в виде последовательности с частотой повторения (ЧПИ (PRF)), превышающей 1 Гц.

Диапазон поражения сетчатки. Область длин волн от 400 до 1400 нм (nm).

Автоблокировка. 1) Устройство, срабатывающее при входе в лазерную лабораторию или при проникновении внутрь корпуса лазерного прибора, которое приостанавливает работу этого прибора или уменьшает мощность облучения персонала до уровня ниже максимально допустимого значения МДМО (MPE). 2) Устройство, срабатывающее при демонтаже защитного кожуха лазерного прибора с целью предотвратить возможность облучения мощностью выше максимально допустимого значения МДМО (MPE).

Сканирование лазерного луча. Перемещающееся лазерное излучение, т.е. лазерное излучение, меняющее по времени свое направление, источник или характер распространения относительно границ неподвижного ориентира.

Мерцание. Быстрые смены уровней энергетической освещенности в плоскости поперечного сечения лазерного луча, вызванные изменениями коэффициента преломления в активном материале вследствие колебаний температуры и давления.

Уровень чувствительности. Минимальная эффективная энергетическая освещенность от видимого лазерного луча, способная стать причиной временного нарушения зрения и таким образом оказать вредное влияние на выполнение действий, связанных со зрительным восприятием. Освещение на таком уровне может вызывать эффект остаточных изображений или кратковременное ослепление.

Источник. Лазерный излучатель или освещенная лазерным лучом отражающая поверхность.

Зеркальное отражение. Отражение зеркального типа, которое обычно сохраняет направленные характеристики лазерного луча.

Ограниченный лазерный луч. Выходной сигнал лазерного излучателя, направленный в воздушное пространство, но ограниченный соответствующим объектом, блокирующим луч, или делающим невозможным дальнейшее распространение луча на уровнях мощности, способных оказать какое-либо физиологическое воздействие или вызвать нарушение зрения.

Передача. Прохождение излучения через активный материал. Если при этом излучение поглощается не полностью, то его оставшаяся порция считается переданной.

Ультрафиолетовое излучение. Электромагнитное излучение в диапазоне волн, более коротких, чем у видимого излучения, в настоящем руководстве – от 180 до 400 нм.

Вестибулярный аппарат. Орган равновесия, расположенный в среднем ухе. Из-за сложного анатомического строения он также называется лабиринтом. Состоит из полукружных каналов и отолитов.

Видимое излучение. См. *Свет*.

Правила визуальных полетов (ПВП (VFR)). Свод правил, регламентирующих выполнение полетов в метеорологических условиях визуального полета.

Уровень вредного воздействия. Видимый лазерный луч с уровнем энергетической освещенности, меньшим максимально допустимой мощности облучения МДМО (MPE), но способный вызвать зрительную реакцию, которая может помешать безопасному выполнению требующих четкости или связанных с риском действий членов экипажей воздушных судов или другого персонала. Этот предел варьируется в зависимости от конкретной зоны, где работает лазерный излучатель. Общий термин для уровней энергетической освещенности в критической, уязвимой и свободной зонах.

Длина волны (λ). Расстояние между двумя ближайшими точками гармонической волны, находящимися в одинаковой фазе. Термин широко используется для числового обозначения цвета видимого лазерного излучения.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ADI	Командный авиагоризонт	MFD	Обобщенный индикатор
AEL	Предельно допустимая интенсивность излучения	MIL	Максимальный уровень энергетической освещенности
AGL	Высота над землей	МОНП (MOVL)	Минимальное офтальмоскопически наблюдаемое поражение зрения
ANSI	Американский национальный институт стандартов	МДМО (MPE)	Максимально допустимая мощность облучения
КТА	Контрольная точка аэродрома	mrad	миллирадиан
УВД	Управление воздушным движением	MSL	Средний уровень моря
ATIS	Служба автоматической передачи информации в районе аэродрома	navaid	Аэронавигационное средство
CIE	Международная комиссия по освещению	ИАГН (Nd:YAG)	Иттриито-алюминиевый гранат неодима
НВ	Непрерывная волна	ЗНП (NFZ)	Зона нормальных полетов
ЭДОВ КЗП	Расстояние от источника облучения в критической зоне полетов	НОЗ (NHZ)	Номинальная опасная зона
Df	Предельная апертура	нм	миллимикрон (нанометр)
DME	Дальномерная аппаратура	NM	Морская миля
ФАА	Федеральная авиационная администрация	БИЗ (NIR)	Ближняя инфракрасная зона
FDA	Администрация по пищевым продуктам и лекарственным средствам	НДОП (NOHD)	Номинальная дистанция оптического поражения
FLIR	Инфракрасное облучение спереди	ИП (NOTAM)	Извещение для пилотов
FSEL	Предельные значения безопасного облучения в полете	NSHD	Номинальная дистанция уязвимости
Н	Энергетическая освещенность	ПНВ (NVD)	Прибор ночного видения
НСИ	Индикатор обстановки в горизонтальной плоскости	ОНВ (NVG)	Очки ночного видения
ППИ (HUD)	Пилотажно-проекционный индикатор	ОП (OD)	Оптическая плотность
Гц (Hz)	герц	НМИ (PCP)	Неоткорректированная мощность излучения
ППП	Правила полетов по приборам	..	дивергенция луча
ССП (ILS)	Система слепой посадки	Ф	мощность излучения
IMS	Метеоусловия полетов по приборам	ЧПИ (PRF)	Частота повторения импульсов
ИКИ	Инфракрасное излучение	Q	энергия излучения
Дж (J)	джоуль	ОИА (SAE)	Общество инженеров-автомехаников
λ	Длина волны	НЗО (SD)	Нарушение зрительной ориентации
Лазер	Усиление света в результате вынужденного излучения	СЗПП (SIAP)	Стандартная процедура захода на посадку по приборам
КЗП (LCFZ)	Критическая зона полетов	СМП (STAR)	Стандартный маршрут прилета (входной коридор)
СД (LED)	Светодиод	ЭДОВ УЗП (SZED)	Дальность от источника облучения в уязвимой зоне полетов
LEP	Защита глаз от лазерного излучения	ВОЗ (TVI)	Временное ослабление зрения
ЭДОВ СЗП (LFED)	Безопасное расстояние при лазерном облучении	ВПЗ (TVL)	Временная потеря зрения
СЗП (LFFZ)	Свободная (от лазерного излучения) зона полетов	ВКВ (UTC)	всемирное координированное время
LIDAR	Определение дальности и места расположения лазерного излучателя	УФИ (UF)	Ультрафиолетовое излучение
МРГЛИ	Местная рабочая группа по лазерному излучению (LLWG)	КОК (VCF)	Коэффициент оптической коррекции
LSA	Потеря ситуационной ориентации	ОСМИ (VCP)	Оптически скорректированная мощность излучения
УЗП (LSFZ)	Уязвимая зона полетов	ЭДЗВ (VED)	Эффективная дальность зрительного воздействия
LSO	Сотрудник службы лазерной безопасности	ПВП (VFR)	Правила визуальных полетов
		МВП (VMC)	Метеорологические условия визуальных полетов
		Вт (W)	ватт
		ИАГ (YAG)	Иттриито-алюминиевый гранат

Меры измерения

e. Обозначение иррационального числа, соответствующего основанию натурального логарифма: 2,71828183... .

Герц (Гц (Hz)). Единица частоты периодических колебаний, выражаемой количеством периодов в течение одной секунды

Джоуль (Дж (J)). Единица энергии. 1 Дж = 1 Вт в секунду

Миллирадиан (mrad). Угловая единица, используемая для измерения дивергенции луча. Миллирадиан равен примерно 0,057 (одной семнадцатой) градуса или 3,44 дуговых минут.

Ватт (Вт (W)). Единица мощности. 1 Вт = 1 Дж в секунду.

Глава 1

ФИЗИКА ЛАЗЕРОВ

1.1 ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

1.1.1 Общее рассмотрение основных принципов работы лазера позволяет понять суть опасных явлений, которые возникают при использовании лазерного излучателя. Как показано на рис. 1-1, электромагнитное излучение возникает в момент, когда заряженная частица (например, электрон) теряет энергию. Это происходит каждый раз при переходе электрона в атоме или ионе из более высокого энергетического состояния, Q_1 , в более низкое, Q_0 , на чем основано действие лампы дневного света. Изменения в колебательном или во вращательном состоянии молекул приводят к тому же эффекту.

1.1.2 Цвет света определяется частотой (или длиной волны) излучения. Более короткие волны относятся к области ультрафиолетового излучения (УФ), а более длинные вызывают инфракрасное излучение (ИК). Наименьшая частица световой энергии в квантовой механике имеет название "фотон". Энергия E фотона определяется его частотой ν , выражаемой в герцах (Гц), и постоянной Планка h , равной $6,63 \times 10^{-34}$ Дж·с, согласно следующей формуле:

$$E = h \times \nu.$$

1.1.3 Скорость света в вакууме, c , составляет 3×10^8 метров в секунду (м/с). Длина световой волны λ и частота ν связаны между собой следующей зависимостью:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}.$$

1.1.4 Разность между энергетическими уровнями, - тем, где находился возбужденный электрон, и тем, на который он опустился, определяет длину волны излучаемого света. По мере возрастания энергии длина волны уменьшается.

1.2 ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЛАЗЕРНОГО УСТРОЙСТВА

1.2.1 Как видно из рис. 1-2, лазерное устройство состоит из трех основных элементов:

- Активный материал (кристалл, газ, полупроводник, краситель, и т. д.)

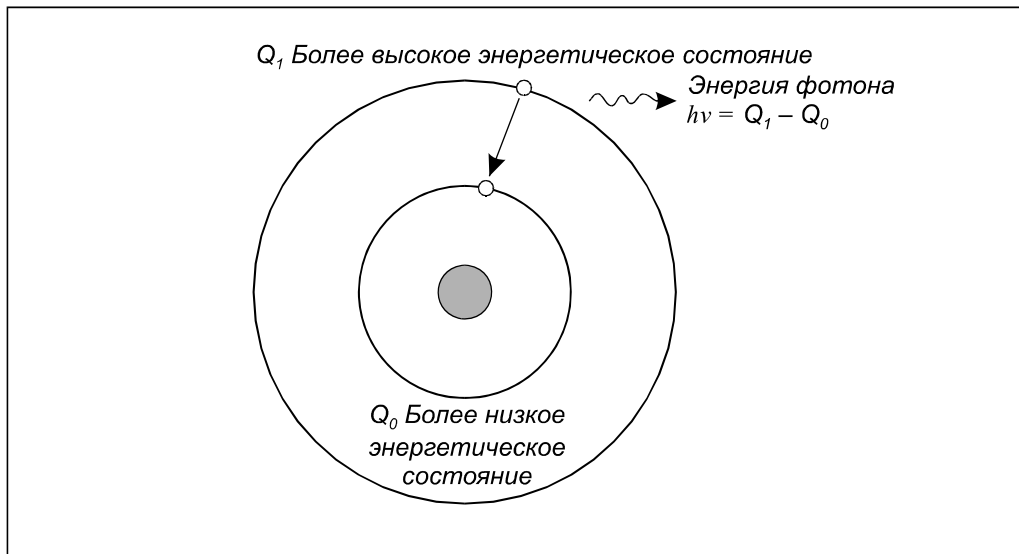


Рисунок 1-1. Излучение из атома в результате перехода электрона из более высокого в более низкое энергетическое состояние

- Источник накачки (сообщает энергию активному материалу, например, ксеноновая импульсная лампа; электрический ток, вызывающий столкновения электронов; излучение от другого лазера, и т. д.)
- Оптический резонатор (обычно состоящий из рефлекторов и работающий как механизм обратной связи для усиления света)

1.2.2 Электроны в атомах активного материала в нормальных условиях пребывают в стационарном состоянии на более низком энергетическом уровне. Когда атомам активного материала сообщается дополнительная энергия от источника накачки, большинство электронов приходит в возбужденное состояние, соответствующее более высокому энергетическому уровню. Это явление носит название "инверсия населенности" и является обязательным условием для возникновения процесса усиления света.

1.2.3 Возбужденные электроны находятся в неустойчивом состоянии, которое сохраняется лишь в течение короткого промежутка времени, после чего происходит ослабление электронов, и они возвращаются на первоначальный энергетический уровень. Такое ослабление может происходить двумя путями: быть либо самопроизвольным, либо вынужденным. Если перед тем, как случится самопроизвольное ослабление возбужденного электрона, с ним столкнется фотон, имеющий определенную длину волны, это приведет к вынужденному ослаблению электрона, и он излучит фотон с той же длиной волны и в том же направлении, что и у столкнувшегося с ним фотона. Если направление такой реакции будет параллельным оптической оси резонатора, излученные фотоны будут двигаться в резонаторе вперед и назад, вызывая все большее и большее количество переходов и высвобождая все большее и большее количество фотонов, движущихся в одном направлении и имеющих одинаковую длину волны.

Таким образом будет происходить усиление световой энергии. Поскольку одно из зеркал является элементарным рефлектором, часть усиленной световой энергии будет излучаться в виде лазерного луча.

1.2.4 На практике очень трудно получить инверсию населенности, используя лишь явление повышенного уровня энергии возбужденных электронов. Находясь в таком состоянии, электроны имеют тенденцию очень быстро возвращаться на свой основной энергетический уровень. Как показано на рисунке 1-3, обычно существует по крайней мере одно возбужденное (метастабильное, или неравновесное) состояние активного материала, при котором электроны можно захватывать в течение достаточно продолжительного времени (от микросекунд до миллисекунд) для поддержания инверсии населенности так, чтобы произошла лазерная генерация. Хотя действие лазера возможно только на двух энергетических уровнях, большинство лазеров имеет четыре или более уровней.

1.3 ТИПЫ ЛАЗЕРОВ

1.3.1 Существует несколько способов получения лазерной энергии. К обычным способам относится использование полупроводников, жидких красителей, твердых сред, газа и металлического пара. Несмотря на то, что технологически все эти способы весьма различны, получаемая посредством них лазерная энергия обладает одними и теми же базовыми характеристиками (См. таблицу 1-1).

1.3.2 За последние годы полупроводниковый лазер (лазерный диод), по сравнению с другими типами лазера, получил наиболее широкое распространение. Это так называемый светодиод (LED) с оптическим резонатором, служащим для усиления света, излучаемого из запрещенной энергетической зоны, которая существует в полупроводниках.

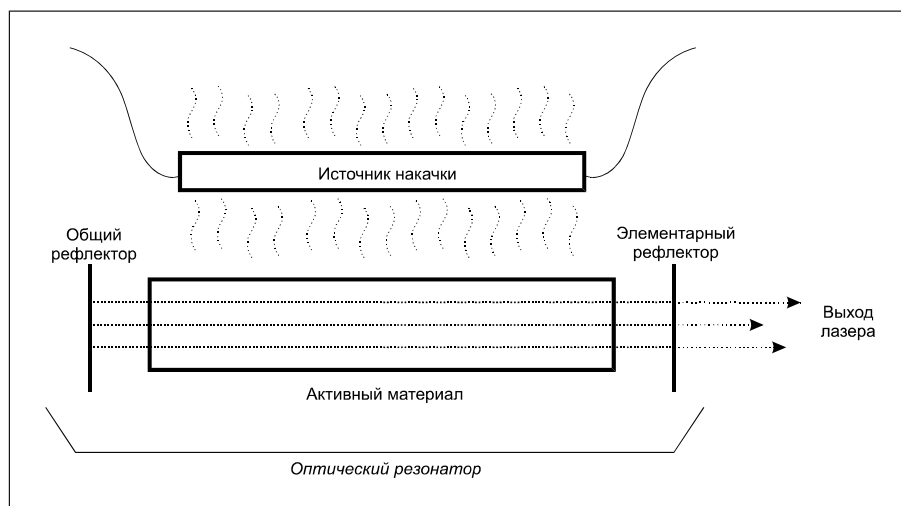


Рисунок 1-2. Твердотельный оптический квантовый генератор

Таблица 1-1. Типы обычных лазерных излучений

<i>Активный материал</i>	<i>Характеристика материала</i>	<i>Область спектра (зона излучения)</i>	<i>Длина волны</i>
Флуорид аргона	Газ	Ультрафиолетовая	193 нм
Хлорид ксенона	Газ	Ультрафиолетовая	308 нм
Гелиевый кадмий	Газ	Ультрафиолетовая	325 нм
		Синяя	442 нм
Аргон	Газ	Синяя	488 нм
		Зеленая	514 нм
Криптон	Газ	Синяя	476 нм
		Зеленая	528 нм
		Желтая	568 нм
		Красная	647 нм
Парообразная медь	Металлический пар	Синяя	510 нм
		Желтая	578 нм
ИАГН (Nd:YAG) удвоенной частоты	Твердое тело	Зеленая	532 нм
Гелиевый нон	Газ	Синяя	543 нм
		Желтая	594 нм
		Оранжевая	612 нм
		Красная	633 нм
		Ближняя инфракрасная	1,15 мкм
Родамин 6G	Жидкий краситель	Видимая	550 - 650 нм
Парообразное золото	Металлический пар	Красная	628 нм
Галиево-алюминиевый арсенид	Полупроводник	Видимая ближняя инфракрасная	670 - 830 нм
Рубин	Твердое тело	Красная	694 нм
Александрит	Твердое тело	Ближняя инфракрасная	700 - 815 нм
Арсенид галлия	Полупроводник	Ближняя инфракрасная	840 нм
Титановый сапфир	Твердое тело	Ближняя инфракрасная	840 - 1100 нм
ИАГН (Nd:YAG)	Твердое тело	Ближняя инфракрасная	1,06 мкм
Эрбиевое стекло	Твердое тело	Средняя инфракрасная	1,54 мкм
Иттриито-алюминиевый гранат эрбия	Твердое тело	Средняя инфракрасная	2,94 мкм
Двуокись углерода	Газ	Дальняя инфракрасная	10,6 мкм

1.3.3 Лазер может работать в непрерывном режиме (лазер непрерывного излучения (НИ (CW))) или генерировать лазерную энергию в виде импульсов. Под импульсной лазерной системой часто подразумевается генератор повторяющихся импульсов, т.е. оптический квантовый генератор. Быстрота генерирования (или частота повторения) импульсов (ЧИП (PRF)), также как длительность импульса и пиковая энергия, чрезвычайно важны для оценки степени потенциальной биологической опасности. Поскольку оптические квантовые генераторы при воздействии на биологическую ткань приводят к возникновению в ней механизмов поражения, они часто могут быть более опасными, чем лазеры непрерывного излучения с той же средней мощностью.

1.4 СВОЙСТВА ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА

Лазер

1.4.1 Лазер может работать в непрерывном режиме или генерировать оптическое излучение в виде дискретных импульсов. Если дело касается лазеров непрерывного излучения (ЛНИ), то обычно рассматривается мощность лазерного луча, как например, при применении моноимпульсных лазеров. Однако, для оптических квантовых генераторов можно пользоваться другими параметрами. При сравнительной оценке порогов безопасности излучения необходимо убедиться в правильности выбора параметра рассмотрения.

1.4.2 Мощность лазера определяется быстротой испускания лазерной энергии. Это означает, что в каждый данный момент времени лазер может произвести определенное количество лазерной энергии. Под лазерной энергией подразумевается количественная мера оптического излучения, полученного в данный период времени

(например, в течение одного импульса). Под лазерной энергией подразумевается количественная мера оптического излучения, полученного в данный период времени (например, в течение одного импульса). Мощность обычно измеряется в ваттах (Вт (W)), а энергия – в джоулях (Дж (J)). Математическая зависимость между этими величинами выражается формулой:

$$1 \text{ ватт} = \frac{1 \text{ джоуль}}{1 \text{ сек}}.$$

Облученность и мощность облучения (энергетическая освещенность)

1.4.3 За вычетом того, что поглощается атмосферой, количество энергии, измеренной у выходного отверстия лазера, будет равным количеству энергии, содержащейся внутри лазерного луча в любой точке дистанции, определяемой дальностью излучения. На рисунке 1-4 показан обычный лазерный луч, воздействующий на образец с площадью поверхности, меньшей площади поперечного сечения луча. Количество энергии, приходящейся на площадь поверхности образца, существенно меньше количества энергии, измеренной на всей площади поперечного сечения луча. Мощность излучения, отнесенная к площади облученной поверхности, называется облученностью, а под мощностью облучения (или энергетической освещенностью) подразумевается количество энергии, приходящейся на единицу площади поперечного сечения луча.

Лазерные режимы (распределение лазерной энергии)

1.4.4 Лазерные лучи могут иметь сложный рисунок и форму. Распределение оптической энергии внутри лазерного луча (называемое лазерным режимом) обычно отобра-

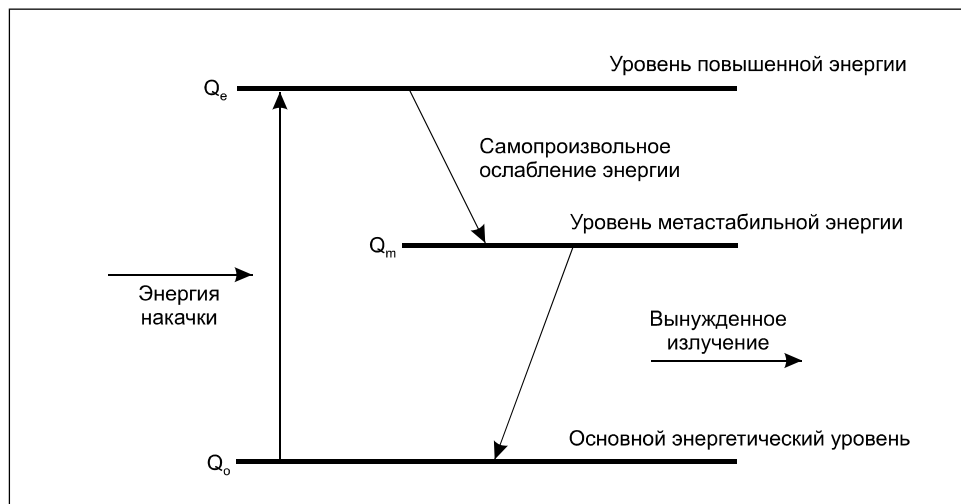


Рисунок 1-3. Схема трехуровневой лазерной энергии

жается либо в виде единичной колоколообразной кривой (гауссов профиль) плотности мощности, либо в виде комбинации множественных колоколообразных кривых. Равномерный (непрерывный) режим лазерного излучения практически представляет собой комбинацию большого количества перекрывающихся друг друга гауссовых профилей. Под идеальным лазером подразумевается лазер, характеризующийся единым гауссовым профилем для большинства областей применения лазерной техники. Этот режим часто используется в расчетах для упрощения анализа лазерной опасности.

1.4.5 Поскольку Гауссово распределение не имеет математического начала и окончания (см. рис. 1-5), определение точного диаметра лазерного луча представляется сложным. Для решения этой задачи, о диаметре лазерного луча можно судить, определив диаметр апертуры, хотя через нее пропускается только определенный процент полной выходной энергии лазерного луча. Часть диаметра лазерного луча, соответствующая дроби $1/e$, принимается равной размеру апертуры, которая заблокировала бы 36,8% ($1/e$ часть) полной выходной энергии лазерного луча (пропустив 63,2%).

Такой способ расчета наиболее часто используется при оценке степени опасности лазерного излучения. Некоторые производители в технических характеристиках своих лазерных приборов, указывая диаметр лазерного луча, исходят из того, что апертура блокирует 13,5% ($1/e^2$ часть) полной выходной энергии лазерного луча (пропуская 86,5%). $1/e$ часть диаметра лазерного луча равна $1/e^2$ части этого диаметра, поделенной на квадратный корень из 2 (т. е. на 1,414).

Ширина спектрального участка

1.4.6 Свет от обычного источника характеризуется весьма широким диапазоном длин волн (включающим весь спектр электромагнитного излучения). Если перед источником белого (широкодиапазонного) света поместить фильтр, пропускающий лишь очень узкий участок спектра излучения (например, зеленый фильтр), будет наблюдаться (в результате возбуждения фильтра) только зеленый свет, или излучение с длиной волны только из этого участка спектра (см. рис. 1-6).

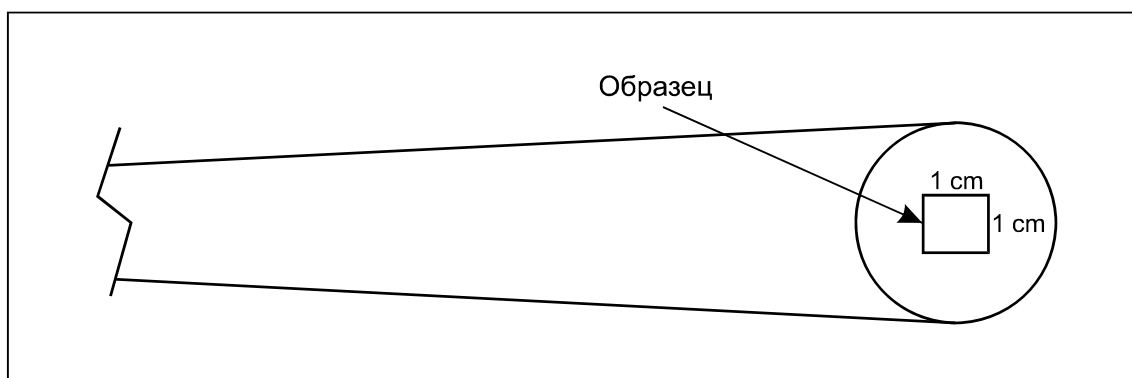


Рисунок 1-4. Иллюстрация к понятию облученности

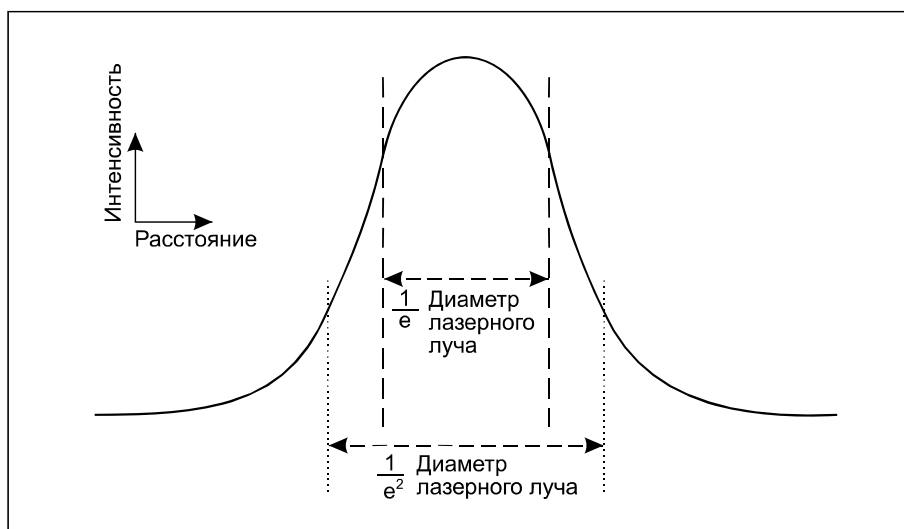


Рисунок 1-5. Диаметр лазерного луча

1.4.7 Свет лазера аналогичен свету, наблюдаемому через фильтр. Однако здесь, в отличие от узкого участка спектра, как в случае с фильтром, ни одна из длин волн не является доминирующей, и имеет место гораздо более узкий диапазон длин волн с доминирующим центром, определяемым частотой лазерного излучения. Цвет, или длина волны излучения, зависит от типа используемого активного материала. Например, если активным материалом в лазере служит кристалл иттриито-алюминиевого граната неодима (Nd:YAG), длина волны излучения будет равна 1064 нм. Определенные материалы и газы способны создавать излучение более чем с одной длиной волны. В этом случае длина волны излучения зависит от оптической конфигурации лазера.

Дивергенция

1.4.8 Излучение от обычного источника света подвержено дивергенции (быстрому рассеиванию), как показано на рисунке 1-7. Мощность, или энергия излучения, приходящаяся на единицу площади, достаточно высокая в непосредственной близости к источнику, быстро уменьшается по мере удаления от него наблюдателя. Напротив, лазерное излучение (см. рисунок 1-8) характеризуется весьма малой дивергенцией, а энергетическая освещенность, или мощность облучения объекта, на небольших расстояниях от источника практически не меняется. Таким образом, относительно маломощный лазер в своем узком луче способен испустить на объект больше энергии, чем это может быть достигнуто при помощи гораздо более мощного обычного источника света.

1.4.9 Дивергенция, ϕ , лазерного луча, используемая в расчетах для оценки степени опасности лазерного излучения, определяется величиной полного угла рассеивания облучения объекта, уменьшается на величину 1/e от мак-

симального значения. Характер распространения лазерного луча в пространстве, отображается кривой, представленной на рисунке 1-9. Диаметр луча, D_L , зависит от расстояния r , размера выходного отверстия (или потерь), и рассчитывается по формуле:

$$D_L = \sqrt{a^2 + r^2 \phi^2},$$

где a - 1/e часть диаметра луча у выходного отверстия лазера (или величина потерь)

1.5 ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

Отражение

1.5.1 Материалы могут отражать, поглощать и отражать свет. Лучшим примером отражения света служит использование зеркала. Если луч света сталкивается с зеркалом, то оно отражает почти всю падающую на него энергию. На рис. 1-10 показано, что происходит, когда свет попадает на пластмассовую или стеклянную поверхность. Сумма переданной, поглощенной и отраженной энергии равна полной энергии, падающей на такую поверхность.

1.5.2 Поверхность является отражающей (зеркальной), если размеры неровностей на всей ее площади значительно меньше длины волны падающего на нее оптического излучения. Когда эти неровности хаотически ориентированы и своими размерами значительно превосходят длину световой волны, поверхность считается отражающей (диффузной). Для поверхностей с промежуточными характеристиками иногда бывает необходимо рассмотреть диффузную и отражательную составляющие отдельно.

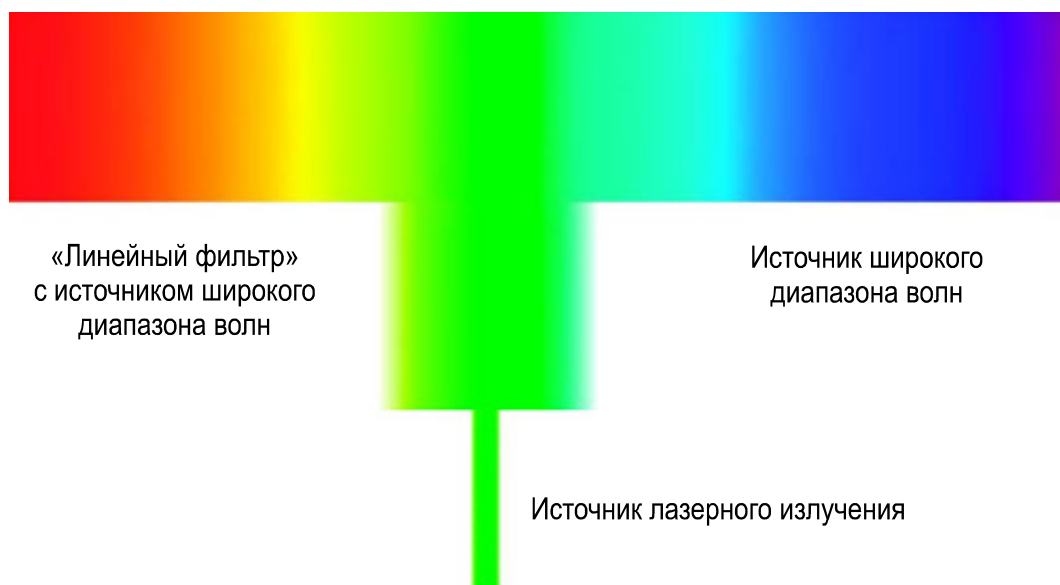


Рисунок 1-6. Ширина спектрального участка лазерного излучения

1.5.3 Плоская зеркальная поверхность не вызывает значительной дивергенции падающего на нее светового луча. Однако, при падении на искривленную зеркальную поверхность, дивергенция луча меняется. Величина этого изменения определяется кривизной поверхности. На рис. 1-11 показано, как происходит отражение света от зеркальных поверхностей обоих рассматриваемых типов. Для наглядности степень дивергенции и кривизна рефлектора сильно увеличены. Энергетическая освещенность от отраженного луча, измеренная в точке, расположенной на определенном расстоянии от рефлектора будет меньше, если рефлектор изогнут, чем при отражении от плоской поверхности, если криволинейный рефлектор не сфокусирован на этой точке или приблизительно на месте ее расположения.

1.5.4 Диффузная поверхность отражает падающий на нее лазерный луч во всех возможных направлениях. Траектория излучения при его столкновении с диффузным рефлектором не сохраняется. Является ли поверхность диффузным или зеркальным рефлектором, зависит от длины волны лазерного луча. Поверхность, оказавшаяся диффузным рефлектором для видимого лазерного излучения, может служить зеркальным рефлектором для лазерного луча в инфракрасном диапазоне. Как показано на рис. 1-12, влияние кривизны диффузных рефлекторов на отраженный луч весьма мало. Явление, именуемое рассеянием, представляет собой множественные диффузные отражения от мельчайших частичек, содержащихся в воздухе.

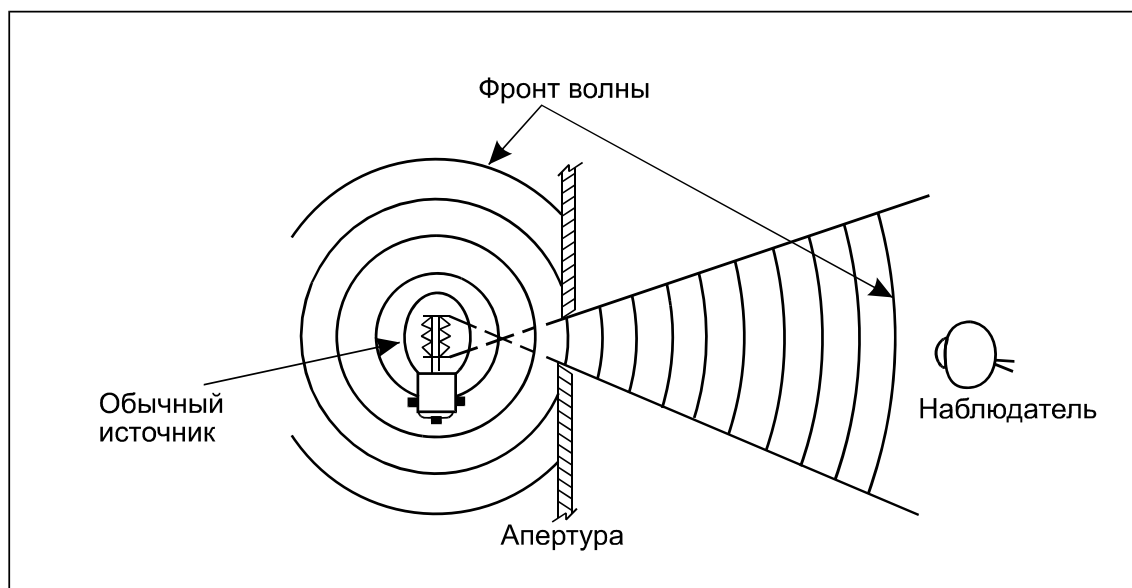


Рисунок 1-7. Дивергенция обычного светового луча

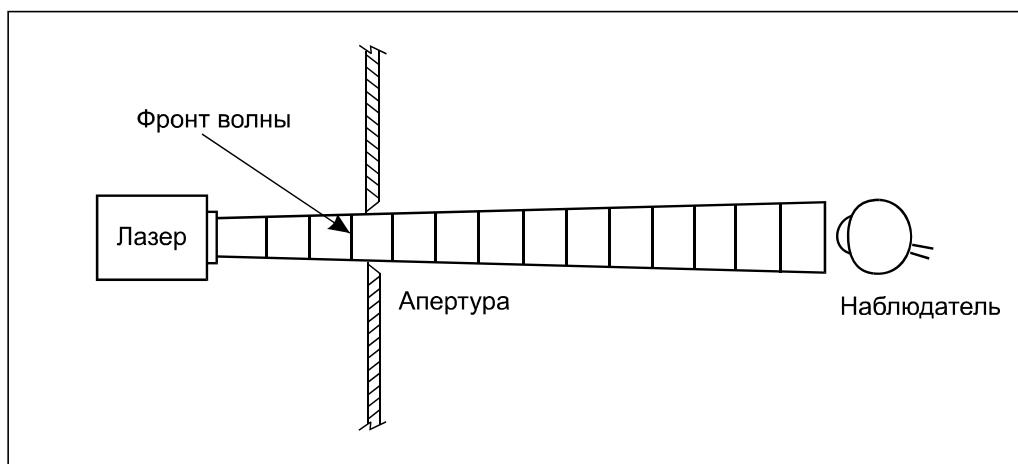


Рисунок 1-8. Дивергенция лазерного луча

Рефракция

1.5.5 Под рефракцией понимается отклонение луча света при его переходе из одной среды распространения в другую. Когда свет падает на границу раздела двух проводящих сред, (например, между воздухом и стеклом), какая-то часть световой энергии передается (проникает в новую среду), а какая-то отражается от поверхности раздела. Если при таком переходе не происходит поглощения энергии, то $T + R = 1,00$, где T и R - доли общей интенсивности падающего светового луча, приходящиеся на переданный и отраженный пучки. T и R называются, соответственно, коэффициентами передачи и отражения. Значения этих коэффициентов зависят не только от свойств материала и длины волны излучения, но также и от угла падения луча.

1.5.6 Угол между падающим лучом и нормалью (перпендикуляром) к поверхности определяет углы преломления и отражения (угол отражения равен углу падения). Угол падения (θ) и угол отражения (θ') связаны между собой следующей зависимостью:

$$n \sin(\theta) = n' \sin(\theta'),$$

где n и n' показатели преломления сред распространения падающего и проходящего пучков, соответственно (см. рисунок 1-10).

1.5.7 Поскольку рефракция изменяет энергетическую освещенность, или мощность облучения объекта, она либо увеличивает, либо уменьшает степень опасности лазерного излучения.

Поглощение

1.5.8 По мере распространения света через атмосферу или любую другую среду, его полная мощность, или энер-

гия ослабляется вследствие поглощения и рассеивания. При распространении в атмосфере, интенсивность света, I , на расстоянии r составляет:

$$I = I_0 e^{-\mu r},$$

где I_0 - начальная интенсивность, а μ - коэффициент ослабления в атмосфере. Коэффициент μ измеряется в единицах, обратных единицам измерения r , т.е. если r выражается в сантиметрах, то μ должен быть выражен в см^{-1} , и, таким образом, произведение μr является безразмерным.

1.5.9 Эта формула показывает, что интенсивность лазерного излучения уменьшается по экспоненте как функция расстояния от источника. Коэффициент ослабления зависит от длины волны лазера. Вследствие взаимовлияния эффектов поглощения и рассеивания, коэффициент ослабления представляет собой комплексную функцию длины волны излучения, выражающуюся большой величиной для одних длин волн, и малой для других.

Сцинтилляция (мерцание)

1.5.10 Причиной сцинтилляции являются хаотические изменения показателя рефракции в атмосфере при прохождении через нее лазерного луча. Эти изменения вызываются местными колебаниями температуры и давления, в результате которых возникает фокусирующий эффект, создающий горячие точки в характеристике излучения, в большей степени проявляющиеся на большом удалении от источника. Сцинтилляция лазерного луча приводит к возникновению переменного рисунка облучения, аналогичному бликам света, которые можно наблюдать на дне плавательного бассейна, когда его поверхность неспокойна и вода пронизана солнцем.

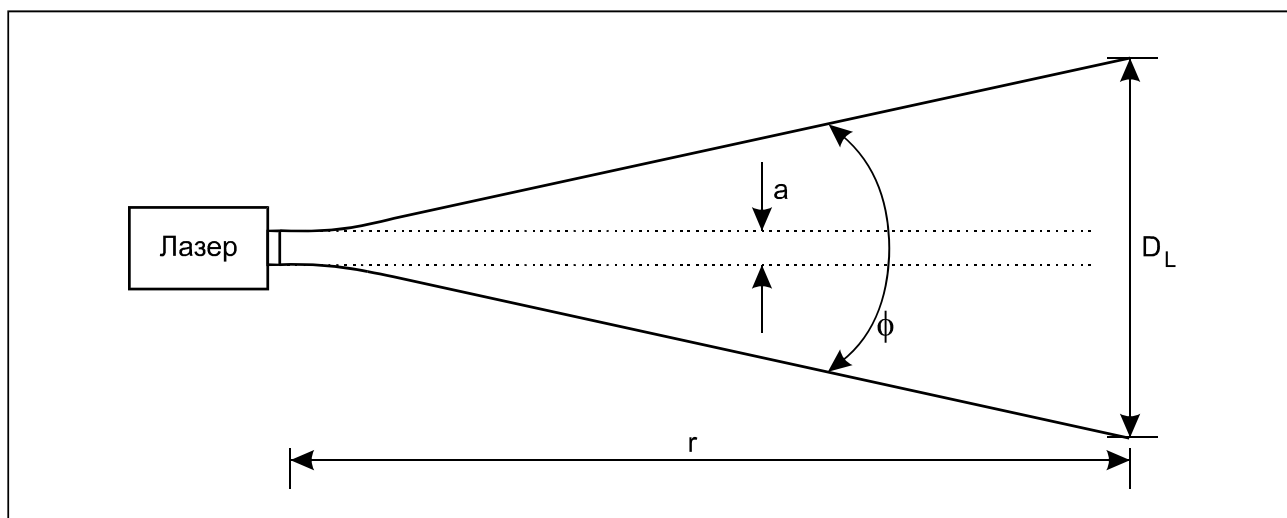


Рисунок 1-9. Геометрия лазерного луча

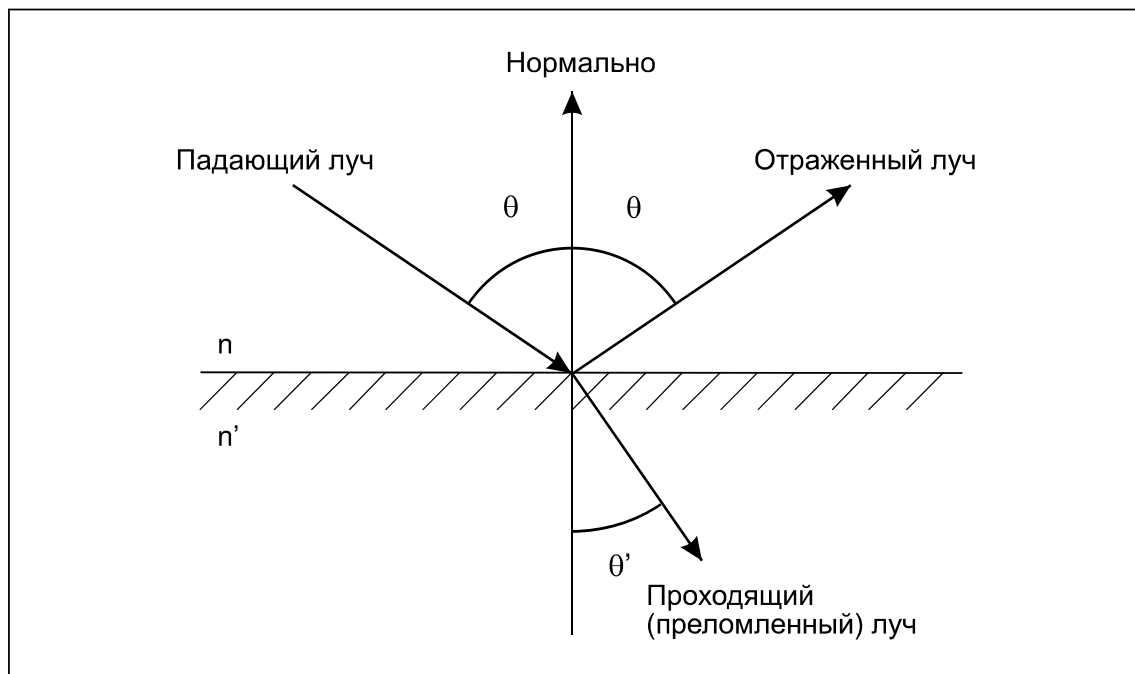


Рисунок 1-10. Луч света, падающий на стеклянную поверхность

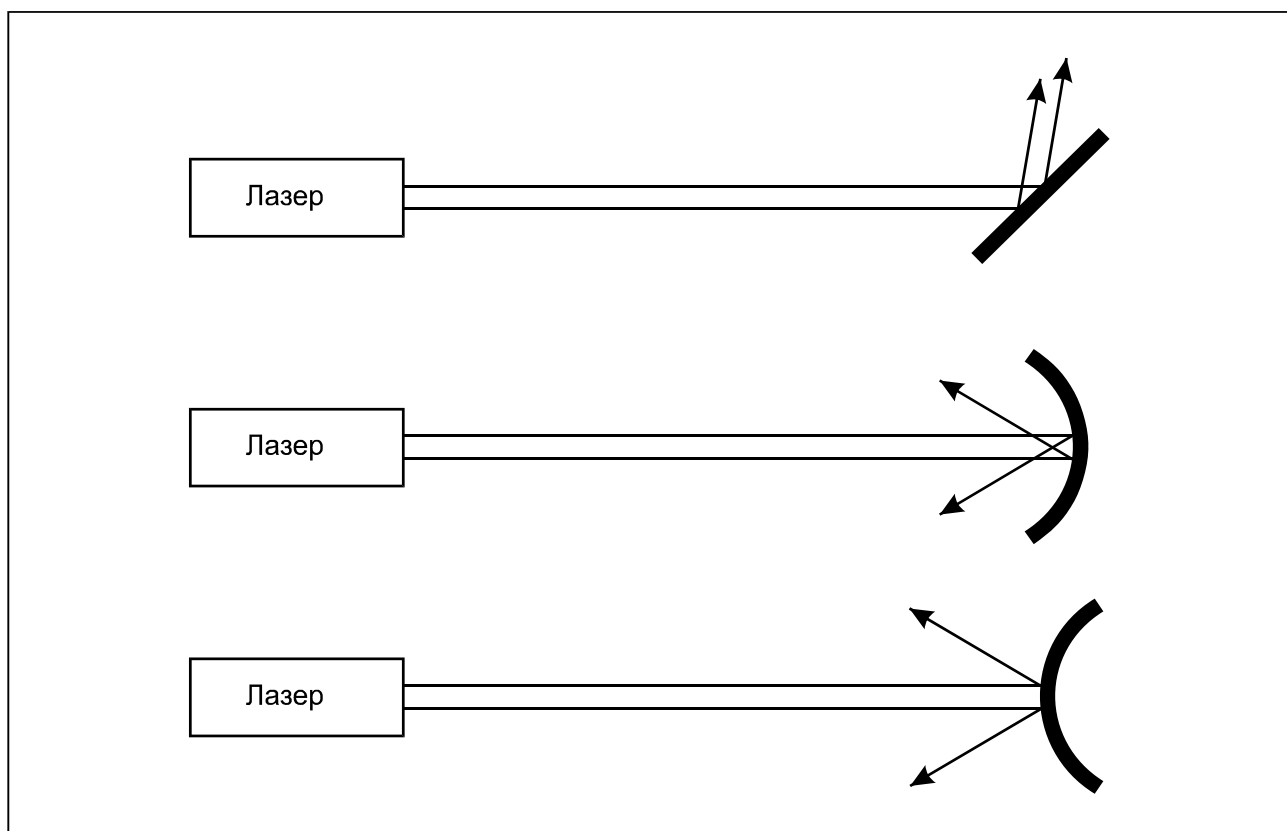


Рисунок 1-11. Зеркальные отражатели

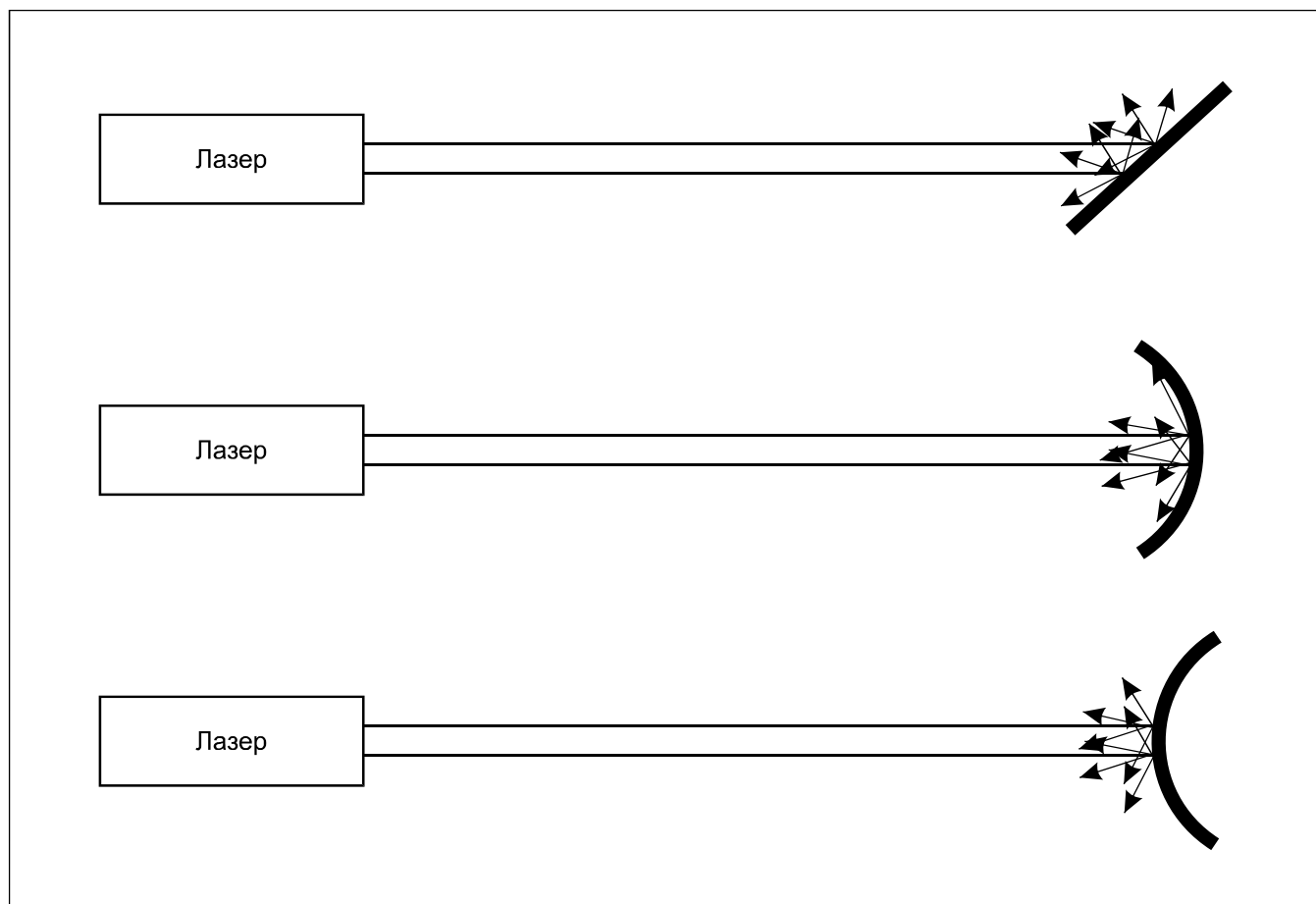


Рисунок 1-12. Диффузные отражатели

Глава 2

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

2.1 ЦЕЛЬ

Целью оценки степени опасности лазерного излучения является минимизация потенциальной угрозы поражения персонала при работе с лазерным излучателем. Как часть этой оценки, разработаны понятия предельно допустимой интенсивности излучения (ПДИИ (AEL)), номинальной дистанции оптического поражения (НДОП (NOHD)) и оптической плотности (ОП (OD)), необходимые для осуществления мер защиты. Помимо этого, должны быть рассмотрены и мероприятия по обеспечению технического и административного контроля.

2.2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

2.2.1 Сетчатка глаза особенно чувствительна к лазерному излучению по двум причинам:

- а) Энергетическая освещенность от обычного источника, такого как электрическая лампа, снижается по мере удаления от него согласно обратной квадратичной зависимости, т.е. энергетическая освещенность уменьшается пропорционально квадрату расстояния от источника света. Поскольку лазерный луч является коллимированным, он не подчиняется обратной квадратичной зависимости, и уровень энергетической освещенности при данной выходной мощности лазера на данном расстоянии от него обычно намного превосходит уровень энергетической освещенности от обычного источника света с той же выходной мощностью.
- б) Если свет от обычного источника сфокусировать посредством отражающей поверхности, как в прожекторе, то энергетическая освещенность по мере удаления от источника в направлении луча окажется выше, чем это определяется обратной квадратичной зависимостью. Но коллимировать обычную световую энергию невозможно. Поэтому с помощью традиционного источника света данной выходной мощности нельзя получить тот же уровень энергетической освещенности, который обеспечивается аналогичным лазерным лучом.

2.2.2 Достигнув глаза, коллимированный световой луч фокусируется роговицей и кристалликом на участок сетчатки чрезвычайно малой площади, подобно тому, как пучок параллельных солнечных лучей мог бы быть сфоку-

сирован увеличительным стеклом в одной точке, создавая облучение, мощность которого достаточна, чтобы зажечь бумагу. Лазерный луч может иметь свечение, значительно более яркое, чем солнечный свет, даже если испускается относительно слабым источником (например, мощностью 5 милливатт), и наблюдатель находится на значительном расстоянии от источника излучения. В этом контексте, способность глаза фокусировать свет очень важна. Лазерный свет, проходя через зрачок диаметром 7 мм, может быть сфокусирован на сетчатке в точку размером всего от 2 до 20 микрон. Легко подсчитать, что облученность от коллимированного пучка света на пути от роговой оболочки до сетчатки глаза возрастает в 100000 раз.

2.3 ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ (ПДИИ (AEL))

2.3.1 ПДИИ (AEL) определяется как максимально допустимая мощность или энергия излучения в пределах конкретного класса градации. ПДИИ (AEL) класса 1- это величина, с которой сравниваются выходные параметры лазера. ПДИИ (AEL) класса 1 подсчитывается путем умножения величины максимально допустимой мощности облучения (МДМО (MPE)) на площадь предельной апертуры.

Максимально допустимая мощность облучения (МДМО (MPE))

2.3.2 МДМО (MPE) - это функция длины волны, времени воздействия и характера облучения (проникающий луч, диффузное отражение, воздействие на глаза или на кожу). Величины МДМО (MPE) определяются путем биологических анализов и приводятся в стандартах по лазерной безопасности, как на региональном и национальном уровнях (например, стандарт ANSI Z136.1 Американского национального института стандартов), так и на международном уровне (например, стандарт IEC 60825-1 Международной электротехнической комиссии).

2.3.3 Величины МДМО (MPE) выражаются в единицах энергетической освещенности или мощности облучения объекта, т.е. в Вт/см² или Дж/см² (Вт/м² или Дж/м²). Они обозначают максимальные уровни воздействия на человека, при которых он не подвергается биологическому поражению. Однако, вредные эффекты с предпороговой

симптоматикой могут быть весьма значительными даже при уровнях воздействия ниже, чем МДМО (MPE).

Предельная апертура (D_f)

2.3.4 Предельная апертура (D_f) - это максимальный диаметр круга, внутри которого энергетическая освещенность или мощность облучения объекта может быть выражена усредненной величиной. Эта величина является функцией длины волны и продолжительности облучения. Конкретные значения этой величины приводятся в национальных и международных стандартах по лазерной безопасности. Предельная апертура - линейная величина и выражается в см или мм.

2.3.5 Значение МДМО (MPE) при воздействии на глаза излучением в диапазоне длин волн от 400 до 1400 нм (диапазон поражения сетчатки.) определено как общее количество энергии или мощность излучения, воспринятая человеческим глазом, адаптированного к ночным условиям наблюдения, для которого входная апертура (диаметр зрачка) принята равной 7 мм. Этот диаметр считается предельной апертурой. Для оценки потенциальной опасности необходимо определить максимальное количество энергии, или мощность излучения, которое может быть пропущено через предельную апертуру. Это количество сравнивается с ПДИИ (AEL) класса 1. Для лазеров с длиной волны излучения вне пределов диапазона поражения сетчатки, а также при воздействии излучения на кожу, могут быть приняты другие значения предельной апертуры (см. соответствующие национальные или международные стандарты).

2.4 КЛАССИФИКАЦИЯ ЛАЗЕРОВ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ

2.4.1 Различные методы классификации лазеров по степени опасности используются для обозначения уровня вредности излучения, присущего лазерной системе, и указания необходимых мер в целях обеспечения безопасности. Согласно классификации, лазеры относят к четырем классам - от первого, луч которых безопасен при большинстве из возможных условий прямого наблюдения, и до четвертого, требующих применения наиболее строгих мер контроля.

2.4.2 Классификация основывается только на условии прямого наблюдения лазерного излучения либо невооруженным глазом, либо через 5-см линзы. Это значит, что для определения класса лазера мощность, или энергия излучения, которая может быть пропущена через предельную апертуру (так называемая эффективная мощность, или энергия) должна быть соотнесена с соответствующим значением ПДИИ (AEL). В общих чертах классификация лазеров представлена ниже (полное описание содержится в принятых национальных и международных стандартах).

1 класс

2.4.3 К первому классу относятся лазеры, которые не могут испускать излучение, превышающее по мощности значение ПДИИ (AEL) класса 1 (исходя из максимально возможной продолжительности воздействия, определяемой конструкцией лазера, или его назначением), либо лазеры, снабженные адекватными техническими средствами для ограничения доступа в зону действия излучения, характеризующего лазер более высокого класса. Это, однако, не означает, что такой лазер обязательно представляет собой систему, неспособную оказать вред. Поскольку рассматриваются только условия наблюдения невооруженным глазом или через 5-см линзы, то при использовании оптики с коэффициентом усиления, превышающим 7,14 (5-см линзы), или если возможен доступ внутрь корпуса эмиттера, вредное влияние излучения на зрение может иметь место.

2 класс

2.4.4 Ко второму классу относятся маломощные лазеры видимого излучения (с длиной волны от 400 до 700 нм) и лазерные системы с допустимой выходной мощностью, превышающей предельное значение для лазеров первого класса, но не выше значения ПДИИ (AEL) класса 1 при продолжительности воздействия на объект, равной 0,25 с. ПДИИ (AEL) класса 1 при продолжительности воздействия 0,25 с составляет 1 милливатт. Лазеры невидимого излучения не могут быть отнесены ко второму классу.

3 класс

2.4.5 Класс 3 подразделяется на 3a и 3b (3A и 3B в международных стандартах). К классу 3a относятся лазеры средней мощности, не более чем в 5 раз превышающей значение ПДИИ (AEL) класса 1 (ПДИИ (AEL) класса 2 для лазеров видимого излучения) при соответствующей продолжительности воздействия на объект. Все другие лазеры с любой длиной волной излучения, не относящиеся к первому или второму классу, мощностью менее 500 милливатт и не способные испустить энергию, превышающую 125 миллиджоулей, за 0,25 с, должны быть отнесены к классу 3b (3B). В международном стандарте, разработанном Международной электротехнической комиссией, приведено также предельное значение мощности излучения для лазеров класса 3A, равное $25 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ($2,5 \text{ мВт} \cdot \text{см}^{-2}$).

4 класс

2.4.6 Лазеры четвертого класса - это лазеры с высокой мощностью излучения, включая все, не укладывающиеся в ограничения по третьему классу. Такие лазеры часто бывают пожароопасными. Опасными в пожарном отношении, вероятно, можно считать оба типа отраженного излучения - зеркальное и диффузное.

2.5 НОМИНАЛЬНАЯ ДИСТАНЦИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ (НДОП (NOHD))

2.5.1 НДОП (NOHD) - максимальное расстояние, на протяжении которого мощность, или энергия излучения, прошедшего через предельную апертуру, может превышать значение ПДИИ (AEL) класса 1. Эта величина определяет минимальную безопасную дистанцию, с которой человек может осуществить прямое наблюдение источника лазерного излучения без риска получить биологическое повреждение. Значение ПДИИ (AEL) класса 1 рассчитывается путем умножения величины МДМО (MPE) на площадь круга с диаметром, равным предельной апертуре (D_f).

$$(ПДИИ (AEL)) = (МДЗ(МПЕ)) \times \left[\pi \times \left(\frac{D_f}{2} \right)^2 \right] = \frac{(МДЗ(МПЕ)) \cdot \pi \cdot D_f^2}{4}.$$

2.5.2 Следующая формула выражает зависимость между количеством энергии, прошедшим через предельную апертуру Q_f (эффективной энергией), и полной энергией Q_o гауссова лазерного луча для заданной величины $1/e$ диаметра луча D_L , диаметра апертуры D_f , и при пренебрежимо малых потерях энергии в процессе распространения луча в атмосфере.

$$\frac{Q_f}{Q_o} = \left[1 - e^{-\left(\frac{D_f}{D_L} \right)^2} \right].$$

2.5.3 С учетом воздействия дивергенции, ослабления в атмосфере и корректирующей оптики (см. 1.4.9, 1.5.8 - 1.5.10 и, далее, 3.7.7, соответственно) эта формула приобретает вид:

$$\frac{Q_f}{Q_o \cdot \tau \cdot e^{-\mu \cdot r}} = \left[1 - e^{-\left(\frac{G \cdot D_f^2}{a^2 + r^2 \cdot \phi^2} \right)} \right],$$

где G - действующий коэффициент оптического усиления, а τ - проводимость используемых средств корректировки зрения.

2.5.4 Если величину ПДИИ (AEL) (максимальный безопасный уровень воздействия) класса 1 заменить величиной Q_f (действительной величиной воспринятого воздействия излучения), то дальность r выразится величиной НДОП (NOHD). Выполнив указанные подстановки и преобразовав формулу, получим:

$$НОДО(НОHD) = \frac{1}{\phi} \sqrt{\frac{-D_f^2 \times G}{\ln \left(1 - \frac{ПДИИ(AEL)}{Q_o \cdot \tau \cdot e^{-\mu \cdot НОДО(НОHD)}} \right)}} - a^2.$$

2.6 ОПТИЧЕСКАЯ ПЛОТНОСТЬ (ОП (OD))

2.6.1 Ввиду того, что лазеры или лазерные системы могут генерировать энергию или мощность в миллионы раз превосходящую значение ПДИИ (AEL) класса 1, для количественного выражения требований защитных мер, рекомендуемых персоналу, предпочтительнее применять логарифмическую шкалу. Чтобы полностью конкретизировать требования по защите зрения при работе с определенной лазерной системой, рассчитываются значения оптической плотности (ОП (OD)) для невооруженного глаза и для случая использования корректирующей оптики.

2.6.2 Чтобы определить значение оптической плотности (ОП (OD)) защитных очков, требующихся для предохранения от случайного воздействия лазерного излучения, обычно пользуются отношением количества эффективной энергии Q_f к величине ПДИИ (AEL) класса 1, а именно:

$$ОП(OD) = \log_{10} \left(\frac{Q_f}{ПДИИ(AEL)} \right).$$

2.6.3 При определении влияния бинокля или другого оптического прибора, соответствующие изменения количества эффективной энергии приведут к изменению значений оптической плотности (ОП (OD)), которые необходимо учесть, если такие условия наблюдения возможны. Однако, максимальное значение ОП (OD) никогда не превышает величины, рассчитанной по формуле:

$$ОП(OD) = \log_{10} \left(\frac{Q_o}{ПДИИ(AEL)} \right).$$

2.6.4 Эта формула допускает, что вся лазерная энергия концентрируется на предельной апертуре, без каких-либо потерь при прохождении через оптику. Это наихудшие условия наблюдения.

2.7 ПРОЧИЕ ФАКТОРЫ

2.7.1 При проведении оценки лазерной опасности необходимо рассмотреть и другие аспекты проблемы. Такие вещи, как определение ущерба при выполнении критической задачи, должным образом срабатывающие блокировки, нанесение и расстановка предупредительных знаков и табличек – все это составные факторы создания безопасных условий для работы лазерной установки. Значение каждого конкретного контрольного мероприятия зависит от того, к какому классу лазерной опасности относится используемый излучатель. Например, для лазеров второго класса нет необходимости использовать задержку при запуске. В действующем национальном или международном стандарте по обеспечению лазерной безопасности

содержится перечень необходимых контрольных мер для каждого из всех классов лазеров.

Буферные зоны

2.7.2 Для любой лазерной системы, работающей на открытом воздухе, должна быть определена и соблюдаться соответствующая буферная зона. Под буферной зоной подразумевается конический объем, сконцентрированный вокруг направления прямой видимости, с вершиной на лазерной апертуре и имеющий установленный буферный угол. Буферная зона обозначает пределы, в которых наверняка можно удерживать лазерный луч. Размеры буферной зоны зависят от точности наведения и качества оптической системы лазера. Обычно буферная зона лазерной установки в пять раз больше величины, характеризующей ее точность наведения. Буферный угол для переносного лазера, используемого на открытом воздухе, равен 10 мрад и 5 мрад для лазера на стабилизированной платформе.

Номинальная опасная зона (НОЗ (NHZ))

2.7.3 Объем пространства, в пределах которого может быть превышено значение ПДИИ (AEL) класса 1 (включая буферную зону) определяется как номинальная опасная зона (НОЗ (NHZ)). Человек, находящийся вне этой зоны, может чувствовать себя в полной безопасности относительно угрозы лазерного облучения. С другой стороны, все, кто оказываются внутри нее, должны либо строго соблюдать установленные меры предосторожности, либо быть снабжены средствами индивидуальной защиты (например, специальными защитными очками). Небольшие зеркальные отражатели, находящиеся на траектории лазерного луча, могут создавать нежелательное излучение, и должны учитываться при определении размеров НОЗ (NHZ).

Уязвимая, критическая и свободная зоны полетов

2.7.4 Биологически безопасное воздействие на глаза видимого лазерного излучения может стать причиной нежелательных эффектов, способных снизить или нарушить способность человека выполнить стоящую перед ним задачу. Эти эффекты могут оказаться весьма опасными, если выполняемая человеком задача носит критический характер (связанный с риском для жизни), например, осуществление посадки воздушного судна. Три уровня возможного оптического вмешательства в процесс выполнения подобной задачи описаны в п. 2.7.5 и подробно рассмотрены в разделе 3.8. Значения этих величин следующие:

- предельная мощность излучения в уязвимой зоне полетов – 100 микроватт/см²;
- предельная мощность излучения в критической зоне полетов – 5 микроватт/см²;

- предельная мощность излучения в свободной зоне полетов – 50 нВт/см².

2.7.5 Предельная мощность излучения в уязвимой зоне полетов приближается к уровню, при котором облучение лазером может иметь тяжкие и продолжительные последствия для здоровья человека. В критической зоне полетов предельная мощность излучения приближается к уровню, при котором в момент облучения человек может испытать значительную потерю зрения, и затем могут долго проявляться вредные последствия такого воздействия. В свободной зоне полетов предельная мощность излучения приближается к уровню, при котором у человека может возникнуть кратковременное ослепление, но это не повлечет за собой никаких вредных последствий. Уязвимая, критическая и свободная зоны полетов определяют собой соответствующие объемы пространства, где превышение указанных пределов запрещено.

2.7.6 Расстояния, соответствующие этим уровням воздействия на зрение человека, определяются тем же способом, что и при расчете значений НДОП (NOHD). Значения предельной мощности излучения, указанные в 2.7.4 подставляются в формулу вместо соответствующих значений МДМО (MPE), находятся новые значения ПДИИ (AEL) и производится перерасчет дальности. Заметьте, что все эти величины относятся только к видимому лазерному излучению, и не могут приниматься во внимание для длин волн за пределами видимого диапазона (400–700 нм).

Внелучевые факторы опасности

2.7.7 Хотя лазерное излучение представляет собой наиболее очевидную опасность, связанную с лазерными системами, при оценке степени лазерной опасности необходимо учитывать много других факторов, которые обычно называются внелучевыми. Ниже следует перечень нескольких внелучевых факторов опасности, присущих использованию лазеров:

- побочное излучение,
- сжатые газы,
- лазерная камера,
- криогенные устройства,
- электротехническое оборудование,
- электромагнитная интерференция,
- эргономические аспекты,
- взрывоопасность,
- пожароопасность,
- лазерные красители,
- механические устройства,
- уровень шума,
- токсичные материалы,
- кабельная проводка и трубопроводы,
- удаление отходов,
- рентгеновское излучение.

Глава 3

БИОЭФФЕКТЫ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ

3.1 ВВЕДЕНИЕ

3.1.1 Создание лазера и промышленное использование лазерной техники представляется одним из самых значительных научных достижений 20-го столетия. В последнее время лазеры используются практически повсеместно, от супермаркетов и школ до спутников и рабочих помещений; они стали совершенно необходимым компонентом потребительских товаров и комплексных промышленных устройств, включая сложные системы вооружения. Доступность технологии и существенное снижение в цене привели к тому, что практически каждый может получить лазер в свое распоряжение. Тем не менее, использование лазерной техники для нужд современного общества продолжает расширяться, и ее потенциальные возможности кажутся безграничными.

3.1.2 Но при неправильном использовании лазерная энергия может также представлять и серьезную биологическую опасность. Таким образом, даже самая безобидная лазерная указка может оказаться угрозой безопасности либо вследствие прямых биоэффектов, либо вызвав сбой в исполнении критической (требующей особого внимания) оперативной задачи в опасных условиях.

3.1.3 Нет ничего удивительного, что при таком распространении лазеров возрастает количество сообщений об инцидентах, связанных либо со случайным, либо преднамеренным воздействием лазерного луча. Существенная часть общего количества этих сообщений относится к области авиации, как гражданской, так и военной. Низко летающие вертолеты, используемые полицией и для медицинских перевозок, особенно уязвимы не только вследствие близости земли, но также из-за того, что пролетают вблизи от размещенных на земле лазерных устройств. При определенных условиях, например, в критической фазе полета, даже самый обыкновенный лазерный луч может оказаться смертельно опасным для воздушного судна. В настоящей главе подробно рассмотрены биоэффекты и разрушительные механизмы энергии лазерного луча, и, в частности, с точки зрения их влияния на полеты воздушных судов. Однако, продолжающиеся разработки новых лазеров и постоянные достижения исследований в отношении лазеров и связанных с ними эффектов представляют теперь обширную и продолжающую расширяться область биологической науки. Поэтому материал настоящей главы является лишь обзором конкретных аспектов этих

эффектов, а именно - биоэффектов, и того, как они могут влиять на полеты воздушных судов. Существуют другие публикации, посвященные более глубокому рассмотрению этой темы. Некоторые из них включены в завершающий главу библиографический список.

3.1.4 В зависимости от мощности излучения и других технических характеристик, воздействию лазерного луча присущи разнообразные биоэффекты, включая способность испарять биологическую ткань, как частично, так и в полной мере, иногда разрушая весь организм. Настоящая глава ограничивается рассмотрением только таких биоэффектов, с которыми вероятно столкновение при выполнении гражданских воздушных операций, и прежде всего, - с воздействием на кожу и на глаза. Большая часть главы посвящена этому виду риска именно из-за потенциальной угрозы зрению, поскольку она является насущной проблемой авиационной медицины.

3.2 Опасность

3.2.1 Спектр электромагнитного излучения простирается от космических лучей с самой короткой длиной волны, равной 10^{-5} нм, до очень длинных волн, порядка 10^{14} нм (100 км), связанных с работой систем связи и энергетических установок. Длина волны зависит от энергии фотонов, которая может быть весьма различной. Чем короче длина волны, тем выше энергия фотонов, определяющая данную длину волны. При взаимодействии излучения с биологической тканью на атомном уровне, чем выше энергия этих фотонов, тем выше риск возникновения биологического эффекта. Поэтому излучение, характеризующееся более короткими длинами волн, обладает наибольшим потенциалом оказаться биологически опасным.

3.2.2 Солнце – источник большинства видов естественного электромагнитного излучения, достигающего земли. К счастью, поверхность планеты защищена атмосферой от проникновения многих из этих волн и связанной с этим опасности, но значительная часть электромагнитного спектра все же преодолевает защитный барьер и становится фактором биологической опасности окружающей

среды. Кроме того, промышленные предприятия могут быть источниками опасного излучения в любых условиях.

3.2.3 Электромагнитное излучение, характеризующееся оптической областью спектра, может воздействовать на глаза и кожу человека. Эта область начинается от ультрафиолетового диапазона с самой короткой длиной волны, равной 100 нм, и содержит весь видимый диапазон, включая инфракрасное излучение с наибольшей длиной волны около 1 мм (10^6 нм), которое используется в радиолокации. Что касается лазерных лучей, как видимых, так и невидимых, оптическая область спектра электромагнитного излучения представляет собой биологическую опасность.

3.2.4 Международная комиссия по освещению (CIE) подразделила оптическую область спектра электромагнитного излучения на инфракрасный (ИФ (IR)), видимый (VISIBLE) и ультрафиолетовый (УФ (UV)) диапазоны, представленные в таблице 3-1:

Таблица 3-1.
Спектральные диапазоны оптического излучения

Спектральный диапазон	Длина волны (нм)
УФС (UVC)	100 - 280
УФВ (UVB)	280 - 315
УФА (UVA)	315 - 400
VISIBLE (ВИДИМЫЙ)	400 - 700*
ИРА (IRA)	700 - 1400
ИРВ (IRB)	1400 - 3000
ИРС (IRC)	3000 - 1000 000

* Хотя диапазон видимого излучения может распространяться на длины волн, превышающие 700 нм, обычно до предела 770 нм, а в некоторых случаях и более, согласно конвенции и в целях обеспечения соответствия с другими принятыми международными стандартами, диапазон длин волн видимого излучения в настоящем руководстве ограничен пределами от 400 до 700 нм.

3.2.5 Атмосфера служит естественным щитом планеты от УФС (UVC) излучения. Волны длиной менее 180 нм полностью поглощаются атмосферой. Без такой защиты биологическая жизнь на земле была бы невозможной. Хотя и не возникая в виде природной биологической угрозы, излучение с такими длинами волн может генерироваться искусственно и эксплуатироваться посредством лазерной техники.

3.3 Механизмы поражения биологической ткани

3.3.1 Чтобы произошло повреждение биологической ткани от воздействия излучения, оно должно поглощаться определенной частью молекул, составляющих эту ткань. Если при прохождении излучения через ткань такого поглощения не происходит, то излучение не вызывает никакого повреждения ткани. Однако, большинство молекул обладает способностью поглощать по крайней мере некоторую часть электромагнитного спектра. Для каждого конкретного вида ткани можно построить кривую чувствительности к излучению в определенных диапазонах длин волн. Такой график представляет собой суммарную картину индивидуальной чувствительности молекул, составляющих ткань, и называется *спектром воздействия*. Во многих случаях удалось точно рассчитать спектры воздействия излучения на ткани различных видов, и они оказались привязанными к четко обозначаемым диапазонам длин волн. Большинство спектров воздействия для различных видов тканей подробно описаны. Классическим примером может служить спектр воздействия для случая фотокератитиса (см. рисунок 3-1) (воспаление роговицы), связанный с избыточным воздействием ультрафиолетового излучения.

3.3.2 Чтобы происходило поражение биологической ткани, молекула должна поглощать фотоны, испускаемые источником излучения. Согласно закону Гротуса-Дрейпера (Grothus-Draper Law), фотоны должны быть поглощены молекулой прежде, чем произойдет фотохимический эффект. По закону Старка-Эйнштейна, чтобы вызвать этот эффект, нужно, чтобы молекула поглотила всего один фотон. Если фотон поглощен, биологическое поражение может стать следствием срабатывания одного из трех главных механизмов разрушения: **фотохимического (фотолитического), термического (фотокоагулятивного), акустико-механического**, или любой их комбинации.

3.3.3 Внутри любой данной биологической ткани, количественная мера поражения представляет собой результат суммарного воздействия всех этих механизмов, а также распространения других локальных повреждений; поэтому поражение ткани выходит за пределы зон расположения отдельных молекул. В некоторых случаях поражение ткани может быть индуцировано на значительном расстоянии от местоположения поглощающей молекулы, например, из места отека или разрыва сосуда.

Фотохимическое поражение

3.3.4 Фотохимическое (фотолитическое) поражение происходит тогда, когда энергия входящего фотона достаточно высока, чтобы разрушить (lyse) существующие химические связи внутри отдельной молекулы. Результатом этого является изменение или разрушение поглощающих молекул и нежелательная трансформация их в свободные радикалы. Значительный объем научных исследований и разработок продолжает посвящаться острым и хрониче-

ским заболеваниям ткани, вызванных образованием свободных радикалов, независимо от причины их возникновения. Сопrotивляемость организма длительным последствиям ежедневно образующихся свободных радикалов в большой степени обуславливается привлечением разнообразных химических медиаторов, которые борются с поражением, выводя свободные радикалы из тканей, чтобы нейтрализовать их потенциальное отрицательное воздействие. Когда эти механизмы восстановления, или медиаторы, не могут компенсировать темп образования свободных радикалов, за этим следуют многие известные виды острых и хронических заболеваний, например, катаракта, макулодистрофия, дегенеративное изменение роговой оболочки и разнообразные дегенеративные кожные заболевания - от потери эластичности (появление морщин), до рака кожи.

3.3.5 Чем короче длина волны, тем выше энергия соответствующих ей упомянутых фотонов. Наиболее энергетически

заряженные фотоны, например в диапазоне УФС (UVC), способны разрушать межуглеродные связи, т. е. наиболее прочные биохимические связи живой ткани. Вот почему от наличия в атмосфере поглотителей излучения в УФС (UVC) диапазоне, таких как кислород, озон, вода, двуокись углерода и других атмосферных составляющих, самым непосредственным образом зависит сохранение жизни человека на земле. Следовательно, именно энергия, которая связана с этими наиболее короткими волнами ультрафиолетового диапазона, играет наиболее значительную роль в нанесении фотохимического поражения при воздействии как на кожу, так и на глаз. Действительно, длины волн короче 320 нм, считаются активным актиничным (фотохимическим) диапазоном. Лазеры могут представлять собой концентрированный источник фотонов практически на любой длине волны, и поэтому весьма эффективны для нанесения фотохимического поражения либо путем слабого, но продолжительного, либо кратковременного, но мощного воздействия.

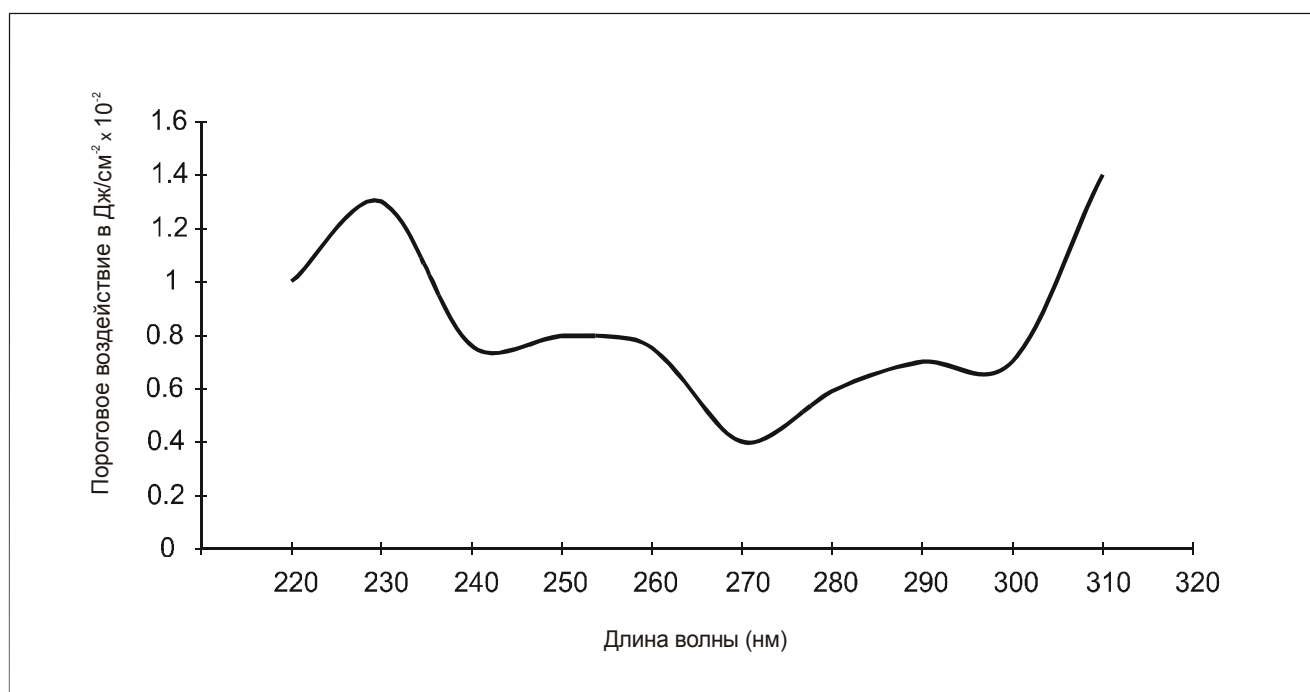


Рисунок 3-1. Спектр воздействия для случая фотокератитиса

Акустико-механическое поражение

3.3.6 Когда молекула неорганического или органического вещества поглощает фотон, эта дополнительная порция новой энергии переводит молекулу в один из нескольких неустойчивых состояний, самое неустойчивое из которых часто называется триплетным. Все эти состояния крайне неустойчивы. Вновь обретенная избыточная энергия на таком уровне быстро испускается, и поэтому упомянутые состояния чрезвычайно кратковременны. В некоторых случаях высвобождение энергии можно наблюдать визуально, как вторичное испускание света с другой длиной волны, в виде фосфоресценции или флюоресценции. Но обычно, высвобождение этой энергии происходит путем экзотермической реакции, т. е. выделением тепла. В зависимости от количества образовавшегося тепла и термочувствительности окружающих тканей, если механизмы нормального рассеивания тепла не компенсируют приток или перегружены, этот термический процесс станет причиной термического поражения. Теплота может вызвать поражение окружающих протеинов и других тканей далеко за пределами мест непосредственного расположения поглощающих молекул. Это объясняет, почему поражение зрения вследствие ожога сетчатки лазерным лучом может быть гораздо более серьезным, чем можно ожидать исходя из размеров видимого участка ожога.

Акустико-механическое поражение

3.3.7 Акустико-механическое поражение возникает вследствие кратковременного воздействия лазерного излучения высокой мощности. Механизм такого поражения состоит из нескольких подпроцессов. Сюда относятся акустические ударные волны, возникающие в результате воздействия самого лазерного луча, и ряд вызванных этим явлений. Например, сверхбыстрые подъемы температуры приводят к образованию в ткани пузырьков пара, которые могут либо сами механически разрушить окружающую ткань, поскольку занимают определенный объем, либо вызвать возникновение дополнительных ударных волн, распространяющихся внутри и проходящих через соседние ткани, производя даже большие разрушения тканной структуры. Кроме того, результатом способности излучения приводить материю в высоко ионизированное состояние (плазма) в комбинации с этим парогенерирующим процессом может стать кавитационный процесс с образованием пузырьков, наносящих дальнейший вред тонким структурам ткани. Такие воздействия носят весьма динамичный характер и могут повредить поверхность в 200 раз превышающую площадь участка термического поражения. Этот кавитационный процесс, называемый также оптическим разрушением, может весьма эффективно использоваться, например, с помощью лазера с активным материалом ИАГН (Nd:YAG), для механического разрушения ткани. Такое воздействие находит клиническое применение в офтальмологии для проникновения через помутненные участки капсулы хрусталика (вскрытие влагалища глазного яблока), которые могут образоваться после экстрака-

сулярной экстракции хрусталика, чтобы произвести лизирование ткани в глубине глаза и создать разрывы в радужной оболочке (иридотомия) при лечении закрытоугольной глаукомы.

3.3.8 Типы биовоздействий лазерного луча и вызываемого ими поражения ткани кожи или глаза зависят от многих переменных факторов, включая физические параметры самого лазерного излучателя, состояние внешней среды и биологические характеристики засвечиваемой ткани и ее окружающих структур.

3.3.9 Физические параметры, характеризующие сам лазерный излучатель углубленно рассмотрены в главе 1. Главные из них следующие:

- длина волны;
- начальный диаметр луча;
- мощность и оптическая плотность;
- дивергенция луча;
- режим работы (импульсный или непрерывный);
- параметры импульса (ЧИП, длительность, и т. д.).

3.3.10 Способность любого данного лазерного луча оказывать биологическое воздействие и вызывать поражение ткани может быть ослаблена или усилена под влиянием факторов внешней среды. Это прежде всего имеет отношение к воздействию на глаза. Факторы внешней среды включают:

- яркость среды (которая определяет уровень световой адаптации);
- удаленность от источника излучения;
- атмосферные условия;
- угол падения луча;
- промежуточные оптические интерфейсы;
- условия наблюдения (невооруженным глазом или через оптический прибор).

3.3.11 Индивидуальная чувствительность любой биологической ткани к конкретному виду излучения может быть искусственно увеличена (снижен порог уязвимости) путем использования определенных фотосенсибилизирующих средств или медикаментов. Существует обширный и все разрастающийся перечень фармацевтических препаратов, местного и широкого спектра действия, делающих человека более уязвимым для биологического поражения определенных тканей в данных условиях. В некоторых случаях применение этих препаратов может повысить чувствительность ткани до такой степени, что известный безопасный уровень конкретного вида излучения внезапно и неожиданно станет существенно биоопасным. Перечень некоторых фотосенсибилизирующих препаратов приведен в таблице 3-2.

Таблица 3-2.
Обычные фотосенсибилизирующие средства

Антибиотики (тетрациклины)
Хлордиазепоксид (Librium®)
Хлортиазиды
Цикламаты
Фуурокоумарины (псоралены)
Гризеофульвин
Налидиксовая кислота
Эстрогены / прогестероны
Фенотиазины
Порфирины (porphiria)
Сульфонамиды
Сульфонилюры
Третиноин (ретиновая кислота, витамин А, Retin-A®)
Триацетилдифенолизатин (лаксатив)

3.4 Поражение кожи

3.4.1 Пределы чувствительности к оптическому излучению при воздействии на глаз и кожу, определяемые соответствующим диапазоном длин волн, в основном совпадают. В то время, как вероятность кожного поражения статистически выше, вследствие значительно большей площади уязвимой поверхности чем у глаза, влияние последствий таких поражений кожи на выполнение оперативной задачи обычно незначительны. Кроме того, степень уязвимости кожи легко уменьшить простыми защитными средствами, такими как укрывание открытых участков кожи одеждой или применение блокирующих химических препаратов. Несмотря на это, воздействие оптического излучения на кожу может иметь вредные последствия в виде острых и хронических проявлений, вызываемых всеми тремя биологическими механизмами поражения ткани. К типичным острым кожным поражениям вероятно следует отнести ожог, который может оказаться настолько серьезным, что потребует наблюдения врача. Кумулятивные эффекты проявляются с возрастом как хронические состояния, в виде морщин, кожных складок (например, cutis rhomboidalis nuchae) и рака кожи. По оценкам специалистов, 80 процентов общей дозы канцерогенного УФ (UV) излучения, воздействующего на человека в течение жизни, он получает не достигнув 21-летнего возраста. По настоящему действенной защита от УФ (UV) излучения будет только если она обеспечивается с самого раннего возраста; эти меры особенно важны в отношении детей.

3.4.2 Разрушительное действие на кожу и на весь организм могут оказывать наиболее мощные лазеры, разрабатываемые для военных, промышленных и научных целей. Однако, маловероятно, что даже сильное поражение кожи лазерным лучом способно физически или психологически вывести из строя экипаж воздушного судна и таким образом сыграть какую-то роль в нарушении безопасности выполнения воздушных операций. Дополнительную информацию по этому вопросу можно получить из

технических публикаций, касающихся индуцированных кожных поражений. Чтобы снизить вероятность появления как острых, так и хронических токсичных кожных эффектов, необходимо избегать невынужденного пребывания под излучением, особенно УФ диапазона. Интенсивность ультрафиолетового излучения возрастает с высотой, как правило увеличиваясь на три - четыре процента за каждые 300 м (1000 фт) подъема.

3.5 Поражение глаз

3.5.1 Именно возможность резкого нарушения зрительного восприятия и свойство лазерных лучей вызывать поражение глаз должны прежде всего приниматься в расчет при выполнении летным экипажем своих обязанностей, поскольку представляют угрозу безопасности полетов.

3.5.2 Если исходить из свойств лазерного луча оказывать поражающее воздействие, оптическое излучение можно подразделить на два основных диапазона: диапазон поражения сетчатки и диапазон, в котором сетчатка не поражается. Спектр длин волн диапазона поражения сетчатки включает оптическую и ближнюю инфракрасную (БИЗ (NIR)) зоны и характеризует излучение, которое пропускается оптической средой глаза (роговой оболочкой, водянистой влагой, хрусталиком и стекловидным телом) и фокусируется на сетчатке. Сюда полностью входят волны видимого диапазона длиной от 400 до 700 нм и волны ближней инфракрасной зоны (IR-A), с предельной длиной волны 1400 нм.

3.5.3 Диапазон опасного излучения, не поражающего сетчатку, составляют волны, которые главным образом поглощаются передними глазными тканями (роговой оболочкой и хрусталиком) без какого-либо значительного проникновения дальше к сетчатке. Этот диапазон включает ультрафиолетовое излучение (УФ (UV)) и наиболее длинные (превышающие 1400 нм) волны инфракрасного излучения, т.е. зоны IR-B и IR-C. Несмотря на то, что некоторая часть безопасного для сетчатки излучения может все-же проникать сквозь определенные глазные ткани, оно обычно почти полностью поглощается, прежде чем достигнет сетчатки. Однако, этот процесс поглощения чреват острыми и хроническими проявлениями, вызванными воздействием на сами поглощающие ткани, особенно в случае, если превышен порог нормальной восстановительной способности. Классическим примером этого служит хрусталик глаза, который является последним тканевым барьером для ультрафиолетового излучения. Он поглощает практически всю остаточную долю ультрафиолетового излучения, прошедшую через роговую оболочку и водянистую влагу глаза.

3.5.4 Этот поглотительный процесс вызывает в хрусталике изменения, такие как пожелтение, что делает его более эффективным фильтром для волн синего и ультрафиолетового диапазонов. Но поглощение может также вызвать увеличение участков помутнения в форме ядерно-

го или коркового склероза (старческая катаракта), которое в конце концов нарушает общую способность зрительного восприятия. Если хрусталик удаляется хирургическим путем, этот естественный барьер на пути ультрафиолетового излучения устраняется также, и, следовательно, ткань сетчатки становится теперь подверженной воздействию ультрафиолетового излучения высоких уровней интенсивности, которое было бы естественным образом поглощено удаленным хрусталиком. Это вызывает необходимость дополнительной защиты от солнечного света даже для людей с имплантированными искусственными хрусталиками (IOL), содержащими в своем составе добавки для поглощения ультрафиолетового излучения, поскольку такие хрусталики не обеспечивают надежной защиты сетчатки от этого вида излучения.

3.5.5 Теперь рассмотрим более подробно характеристики каждого вида глазной ткани по отношению к действию оптического излучения. Для упрощения рассмотрения приведен нижеследующий рисунок 3-2.

Роговая оболочка

3.5.6 Многослойная роговая оболочка представляет собой прозрачную структуру, главным образом благодаря которой обеспечивается способность глаза изменять направление лучей (преломлять свет), в процессе того, как входящие в глаз лучи света естественным путем фокусируются на сетчатке. Роговая оболочка способна поглотить 100 процентов волн УФ (UV) диапазона, длина которых не превышает 280 нм (зона УФС (UVC)). Обычно этому не придается большого значения, поскольку даже в условиях полета на самых больших высотах, большая часть естественного УФС (UVC) излучения уже поглощена атмосферой. Совсем другое дело, если речь идет об искусственных источниках УФС (UVC) излучения в окружающей среде. Общее количество поглощаемого роговой оболочкой УФ (UV) излучения уменьшается по мере увеличения длины волны, поэтому все большая и большая его доля постепенно проходит через водянистую влагу к хрусталику. При длине волны, равной 360 нм, роговая оболочка поглощает около 34 процентов волн ультрафиолетового излучения. С другой стороны, роговая оболочка поглощает совсем небольшую порцию волн видимой и ближней инфракрасной (БИЗ (NIR)) зон спектра излучения, пропуская свыше 95 процентов общего количества этих волн на сетчатку в виде более концентрированного или сфокусированного луча.

3.5.7 Поглощение роговой оболочкой избыточного УФ (UV) излучения может привести к поражению роговичной ткани, и, как следствие, к изменению спектра поглощаемых и пропускаемых волн. Классическим примером этого служит фотокератит (воспаление роговицы), возникающий от воздействия излучения при дуговой электросварке, при загорании под искусственным источником, или под высокоинтенсивном естественным УФ (UV) излучением, типичным при активных играх на снегу или на воде. УФ (UV) излучение также считают причиной нескольких видов роговичной дегенерации, часто назы-

ваемых климатическими капельными кератопатиями, такими, как роговичная дегенерация Bietti и лабрадорская кератопатия. Благодаря механизмам заживления и естественным восстановительным свойствам эпителия роговой оболочки эти состояния обычно носят временный характер, хотя и весьма болезненны. Такие облучения могут также носить и эпидемический характер, как это описано Ксенофоном в "Анабасисе", когда полчища греческих солдат во время организованного отступления в горах были выведены из строя из-за ослепления солнцем. Однако, лазерные лучи высокой интенсивности способны вызвать серьезные структурные нарушения в глубоких тканях роговой оболочки. Это привело бы к образованию там постоянного рубца, что чревато потерей зрения в зависимости от его положения. К счастью, такие мощные лазерные излучатели, работающие в УФ (UV) диапазоне, еще недостаточно разработаны для применения.

3.5.8 Поражения роговицы УФ (UV) излучением обычно оказываются поверхностными, временными и восстанавливаемыми. Тем не менее, они могут приводить к потере трудоспособности и быть очень болезненными. Тяжелое острое поражение роговицы членов экипажа воздушного судна могло бы лишить их зрительного восприятия.

Водянистая влага

3.5.9 Водянистая влага – это прозрачная жидкость с небольшим количеством плавающих клеточных элементов. Однако, она в состоянии поглощать какую-то долю УФ (UV) излучения, которое проходит через роговую оболочку глаза, но эта доля пренебрежимо мала. Аналогичным образом она пропускает к хрусталику излучение инфракрасного (ИК (IR)) и видимого диапазонов практически неослабленным.

Хрусталик

3.5.10 Хрусталик выполняет роль последнего фокусирующего элемента оптической структуры глаза. Обладая значительно меньшей способностью преломлять свет по сравнению с роговой оболочкой, он является единственным подвижным фокусирующим элементом, обеспечивающим окончательное фокусирование лучей на сетчатке. Он выполняет это автоматически и практически мгновенно. И кроме того, что важно, хрусталик – это последний тканевый барьер для любого УФ (UV) излучения, проникшего через роговую оболочку и водянистую влагу. Хрусталик поглощает растущую долю волн УФ (UV) диапазона, длина которых превышает 300 нм (зона УФВ (UVB)), а также примерно 50 процентов УФ (UV) излучения с длиной волны 360 нм (зона УФА (UVA)). Как указывалось ранее, "платой" за выполнение роли последнего тканевого барьера для УФ (UV) излучения на пути к сетчатке, является пожелтение хрусталика и другие изменения, которые в конечном итоге ведут к помутнению и образованию катаракты (cataractogenesis).

Левый глаз. Вид сверху

Роговая оболочка

1. эпителий
2. Боуменовский слой
3. основа
4. эндотелий, десцеметовая оболочка
5. передняя камера глаза

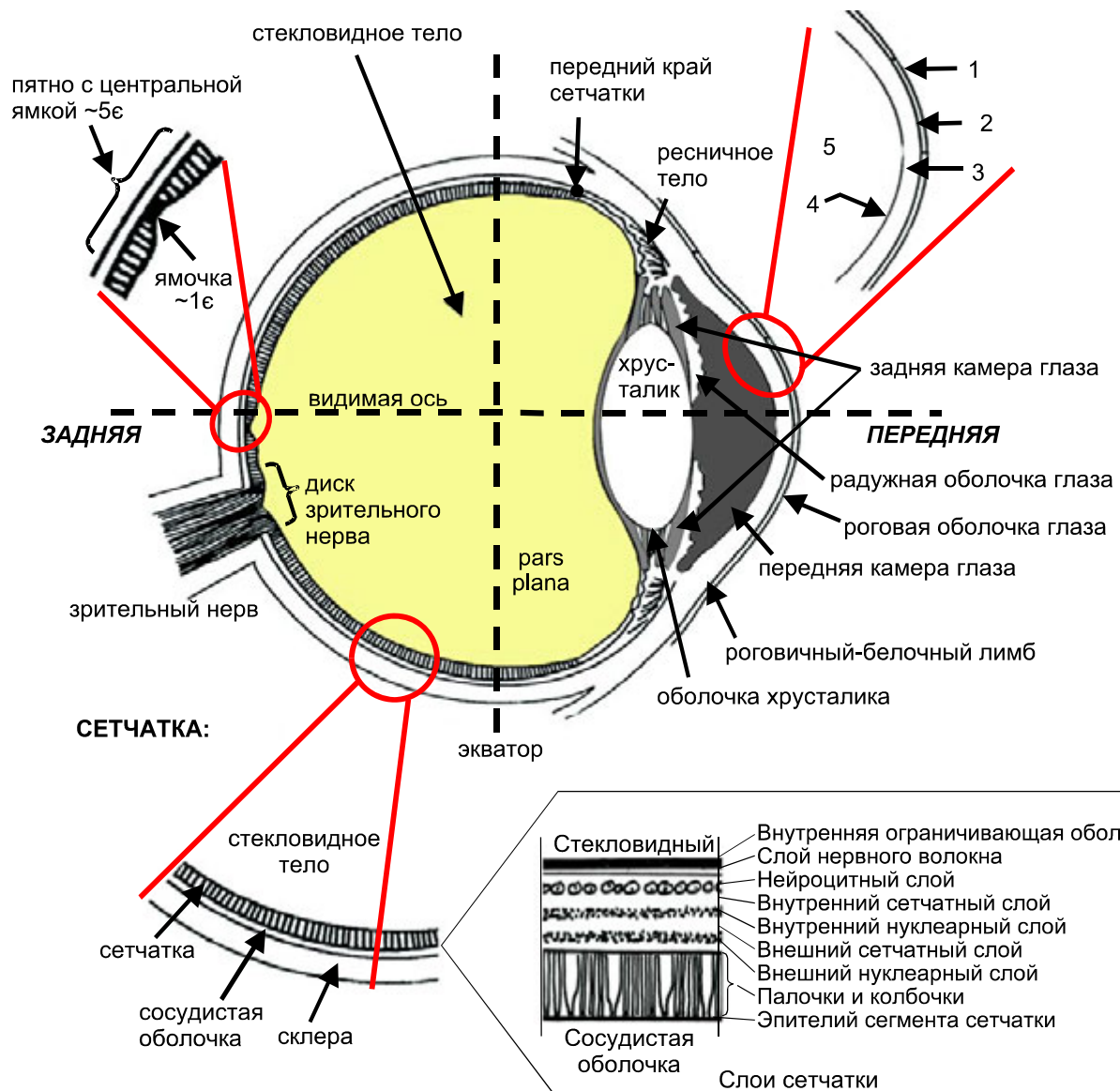


Рисунок 3-2. Анатомия глаза

3.5.11. Вследствие способности переднего сегмента глаза поглощать УФ (UV) излучение, практически никакие волны короче 300 нм не пропускаются внутрь стекловидного тела и только около одного - двух процентов волн излучения спектральных зон УФВ (UVB) и УФА (UVA) проходит через хрусталик. Было обнаружено, что в хрусталике имеется лишь единственное "окно", пропускающее непропорционально большое количество УФ (UV) излучения с длиной волны 320 нм. Это представляет определенный интерес, но наличие такого окна не оказывает значительного влияния на уязвимость глаза. Поскольку хрусталик - это аваскулированная и инкапсулированная структура, его способность рассеивать тепло и выдерживать другие вредные воздействия крайне ограничены, из-за чего, главным образом, с возрастом и образуется катаракта. Хрусталик пропускает излучение видимого диапазона и ближней инфракрасной (БИЗ (NIR)) зоны спектра практически не ослабленными, но в несколько рассеянном виде. Но хрусталиком поглощается энергия средней инфракрасной (ИКВ (IRB)) зоны, поэтому возможно его поражение инфракрасным излучением на меньшем уровне энергии, недостаточном для вредного воздействия на роговую оболочку глаза. С возрастом желтизна хрусталика увеличивается, и он поглощает все возрастающую долю более коротких волн видимого диапазона (фиолетовой и синей областей спектра).

Стекловидное тело

3.5.12 Стекловидное тело (corpus vitreum) представляет собой оптически прозрачную структуру, образованную из желеобразного и водянистого материала с некоторым количеством волокон и клеток. Однако оно все-же обладает весьма ограниченной способностью поглощать ультрафиолетовые волны и благодаря своей структуре пропускает излучение видимого диапазона и ближней инфракрасной (ИКВ (IRB)) зоны спектра практически без ослабления.

Сетчатка

3.5.13 Сетчатка глаза содержит нейтральные элементы и фоторецепторы (палочки и колбочки) зрительной системы и представляет собой главный объект внимания при рассмотрении механизма фототоксического воздействия оптического излучения.

3.5.14 Подверженность сетчатки глаза фотолитическому поражению возрастает по мере уменьшения длины волны излучения. Кроме того, поглощающая способность пигментного эпителия сетчатки выше в ближней ультрафиолетовой зоне спектра, чем в видимом диапазоне. Поэтому, если дозы достигающего сетчатки УФ (UV) излучения достаточно велики, то может произойти термическое поражение сетчатки. Будучи нормально защищенной от УФ (UV) излучения передним сегментом глаза, в этом диапазоне сетчатка уязвима, особенно для волн с длиной

более 320 нм. Чувствительность сетчатки к УФ (UV) излучению проявляется также и после удаления хрусталика.

3.5.15 Форма сетчатки уникально соответствует восприятию узкого спектра солнечного излучения, в обычных условиях достигающего поверхности планеты, а именно, его видимого диапазона. Как указывалось выше, эта область спектра включает волны длиной от 400 до 700 нм, но в пределах этого диапазона сетчатка особенно чувствительна к волнам определенной длины. Пик чувствительности при фотопических условиях (дневное освещение) приходится на длину волны 555 нм (желто-зеленая область), благодаря чувствительности колбочек, но смещается к диапазону более коротких длин волн, достигающих приблизительно 510 нм (сине-зеленая область) в сумерки, что соответствует пику чувствительности палочек в скотопических условиях (ночное зрение). Такой сдвиг пиковой светочувствительности сетчатки между диапазонами чувствительности колбочек и палочек носит название "феномен Пуркинье (Purkinje Shift)"

3.5.16 В некоторых случаях физиологическую реакцию сетчатки на УФ (UV) и ИК (IR) излучение можно зафиксировать документально. Хотя ИК (IR) излучение в основном невидимо, удалось показать, что порог спектральной чувствительности человеческого глаза соответствует длине волны, достигающей 1064 нм (Slaney, и пр., 1976)¹.

3.5.17 Чтобы начался процесс зрительного восприятия, сетчатка должна поглощать видимое излучение. Она также способна поглощать излучение и в ИК (IR) диапазоне. Этот суммарный диапазон поглощаемого излучения (видимой и ИК (IR) областей спектра) определяет **полосу восприятия**, поэтому лазеры, которые испускают фотоны в пределах этого суммарного диапазона, классифицируются как лазеры **воспринимаемого излучения**, представляющего фактор угрозы.

3.5.18 Как уже упоминалось, свойство любого конкретного лазерного луча оказывать биологическое воздействие зависит не только от физических характеристик самого луча, но также и от атмосферных условий и других известных параметров состояния внешней среды в данный момент. В перечень этих переменных величин необходимо добавить определенные биологические характеристики глаза, которые также связаны с пороговой чувствительностью глаза к опасному воздействию. К ним относятся:

- размер зрачка;
- возраст;
- уровень светочувствительности;
- кровоснабжение сосудов;
- прозрачность внутренней среды глаза (проводимость и рассеивание);
- уровень световой адаптации;
- тип облучаемой ткани.

3.6 Перечень терминов для характеристики поражения глаза лазерным излучением

Существует ряд терминов, используемых при описании поражения глаза лазерным излучением. Ниже приводится перечень этих терминов.

- а) **Максимально допустимая мощность облучения (МДМО (MPE)).** МДМО (MPE) - это уровень энергии лазерного луча, ниже которого лазерное излучение, как считается, не оказывает неблагоприятного биологического воздействия. В расчетных значениях МДМО (MPE) существуют некоторые различия, в зависимости от типа излучения (импульсного или непрерывного). Значения величин МДМО (MPE) при воздействии на кожу и глаз для любого типа лазерного излучения приведены в стандарте ANSI Z136-1-2000² Американского национального института стандартов и в стандарте 60825-1: 1998³ Международной электротехнической комиссии (IEC), а также в других соответствующих международных документах.
- б) **Номинальная дистанция оптического поражения (НДОП (NOHD)).** Расстояние от источника лазерного излучения, за которым соответствующая частота повторения импульсов не превышает заданной величины. На протяжении этого расстояния МДМО (MPE) может быть превышена и вероятно биологическое поражение. Поэтому НДОП (NOHD) определяет так называемую "безопасную дистанцию наблюдения" любого лазерного излучения. Понятие "безопасная дистанция наблюдения" применимо к любому виду биологического поражения лазерным лучом, а не только к нарушению зрительного восприятия.

- в) **Минимальное офтальмоскопически наблюдаемое поражение (МОНП (MOVL)).** Минимальная степень поражения, вызванного лазерным излучением, обнаруживаемое средствами прямой офтальмоскопии. Поражение ткани может быть не сразу замеченным, и стать видимым только спустя сутки и более. Энергия, необходимая для нанесения МОНП (MOVL), в основном, возрастает в функциональной зависимости от расстояния до центральной ямки на сетчатке. Найдено, что облучение и энергетическая освещенность от обычных лазеров, работающих в пределах наиболее употребительных диапазонов длин волн, способны оказать биологическое воздействие на уровне МОНП (MOVL).

3.7 Биологические эффекты лазерного облучения

3.7.1 Характер возможных биоэффектов, вызываемых воздействием лазерного излучения, представляет собой непрерывный спектр обратимых и необратимых гистологических поражений, зависящих от физических параметров лазерного луча, факторов внешней среды и уязвимости ткани.

1. Sliney, D.H., R.T. Wangemann, J.K. Franks and M.L. Wolbarsht. "Visual Sensitivity of the Eye to Infrared Laser Radiation". *Journal of the Optical Society of America*, 66(4): pp. 339-341.
2. American National Standards Institute ANSI Z136.1-2000. "American National Standard for the Safe Use of Lasers".
3. International Electrotechnical Commission IEC 60825-1: 1998. "Safety of Laser Products, Part 1; Equipment Classification, Requirements, and User's Guide".

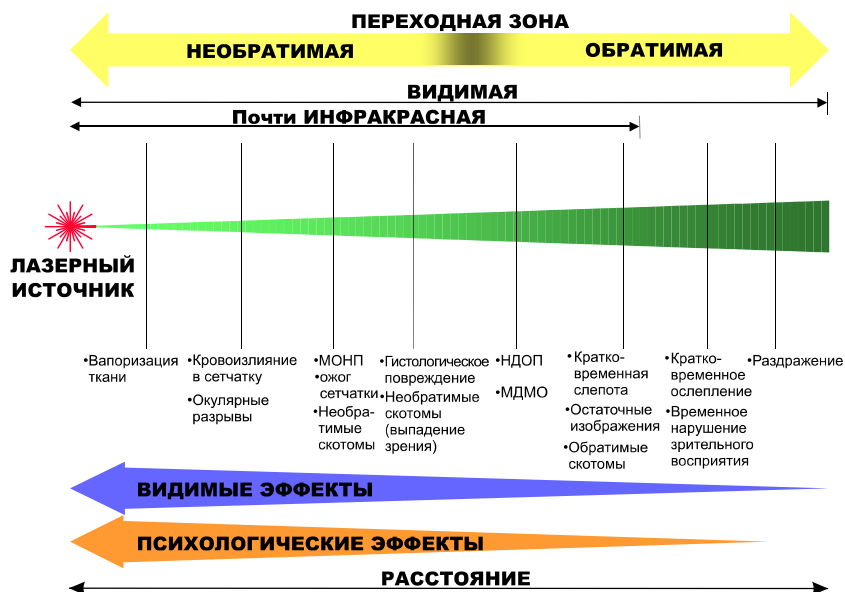


Рисунок 3-3. Биологические эффекты лазерного облучения

3.7.2 Вследствие этого определяется широкое разнообразие и непрерывный спектр возможных биоэффектов, включая поражения от оптического излучения, как патологические (обратимые и необратимые), так и сбои в выполнении требуемых действий, поскольку все они создают угрозу безопасности полетов (см. рисунок 3-3). По степени поражения биоэффекты разнятся от раздражения, кратковременного ослепления, непродолжительной потери зрительного восприятия, разнообразных остаточных изображений и скотомы, до ожогов и кровоизлияний в сетчатке и даже сквозной раны глаза. Сюда также относятся физические и физиологические явления, которые в дальнейшем могут привести к нарушению зрения и мыслительной функции мозга при выполнении конкретной оперативной задачи. Следовательно, для возникновения эффекта, влекущего за собой серьезную потенциальную опасность, совсем не обязательно превышение значения МДМО (MPE) и нарушение установленной величины НДОП (NOHD).

3.7.3 При самом минимальном уровне мощности любое лазерное излучение в видимом диапазоне потенциально опасно по своему раздражающему и психологическому воздействию. В критической фазе полета даже слабый лазерный луч может оказаться смертельным для экипажа и пассажиров воздушного судна, даже не обладая достаточной мощностью, чтобы вызвать биологическое поражение ткани.

3.7.4 Однократное облучение лазером может вызвать несколько эффектов одновременно. Такое облучение может быть отвлекающим (а иногда способным и испугать), на мгновение ослепить или временно нарушить зрительное восприятие, привести к кратковременной слепоте и к возникновению разнообразных остаточных изображений и скотомы, а также вызвать ожог или сквозную рану в сетчатке и стать причиной внутреннего кровоизлияния в глазу.

3.7.5 Лазерный луч, способный вызвать ожог сетчатки, поразит также окружающие участки ее ткани, что приведет к их отеку и другим биоэффектам, которые распространятся далеко за пределы поверхности, где располагается сам видимый очаг поражения. Значение МОНП (MOVL) определяет минимальную степень вызванного лазерным лучом поражения, которое можно наблюдать средствами офтальмоскопии, с применением приборов прямого визуального осмотра без использования техники микроскопического исследования. Специальное оборудование требуется при осмотре участков микроскопического поражения от облучения лазером. Однако, можно предвидеть, что такие изменения являются неотъемлемой частью непрерывного спектра биоэффектов при поражении ткани и будут неизменно присутствовать как в самом месте лазерного поражения, так и вокруг него. Это побочное поражение ткани возникает прежде всего вследствие действия других разрушительных механизмов, таких как периферические эффекты от закупорки кровоснабжения в ближайших участках ткани или отек, разрывающий прилегающие

клеточные структуры и сжимающий местные кровеносные сосуды.

3.7.6 В целом, восприимчивость человеческого глаза к поражающему воздействию является также функцией уровней яркости внешней среды и световой адаптации в момент облучения. Например, любой данный лазерный луч должен был бы обладать существенно большей мощностью, чтобы вызвать одинаковые биоэффекты, такие как непродолжительная слепота, кратковременное ослепление и раздражение зрения в фотопических (дневных) условиях освещения, чем при мезопическом (сумеречном) освещении или в скотопических (ночных) условиях. При одинаковых средних значениях мощности луч квантового генератора будет иметь более высокую пиковую мощность и поэтому более опасен, чем луч НИ (CW) лазера, т.е. лазера непрерывного излучения. Однако, если говорить о многих потенциальных биоэффектах, общих для случаев поражения лазерным излучением любого типа, разница в клинике и субъективном восприятии воздействия лучей квантового генератора и лазера непрерывного излучения неслучайна.

3.7.7 Вследствие своих светоконцентрирующих свойств, оптические приборы, такие как перископ, телескоп и бинокль, обладают способностью увеличивать долю лазерного излучения, попадающего в глаз, таким образом усиливая опасность поражения. Поэтому, для защиты зрения необходимо использовать более высокие значения НДОП (NOHD) и ОП (OD). При уменьшении диаметра луча на 50 процентов, оптическая плотность луча возрастает в квадрате.

3.7.8 Приборы, обеспечивающие получение изображения, и не позволяющие прямого наблюдения лазерного луча, такие как очки ночного видения (NVG) или инфракрасные датчики передней полусферы (FLIR), не пропускают поступающие в них лазерные фотоны к человеческому глазу. Эти приборы используют генерируемые заново видимые фотоны, множасьшие посредством фоточувствительных материалов. Выходящие из этих приборов лучи не являются лазерным излучением. Новые фотоны, испускаемые из смотрового канала такого прибора, существенно отличаются от тех, которые обычно поступают в светособирающий прибор. Поэтому, хотя такие датчики и снимаемая с них информация могут быть повреждены или даже разрушены воздействием лазерного луча, они в самом деле обеспечивают существенный уровень защиты глаза от лазерного излучения по линии прямой видимости.

3.8 Биологические эффекты лазерного облучения и безопасность полетов

3.8.1 Настоящий раздел посвящен разбору индивидуальных особенностей определенных биологических эффектов из их непрерывного спектра в аспекте поражения зрения и влияния на безопасность полетов.

- раздражение;
- ослепление резким светом (также называемым ярким блеском);
- кратковременная слепота;
- остаточные изображения;
- скотомы (выпадение зрения);
- ожоги сетчатки;
- кровоизлияния в сетчатку;
- разрыв глазного яблока;
- прочие.

Раздражение

3.8.2 Когда человек видит яркий свет, особенно ночью, естественной его реакцией бывает взгляд в сторону источника света. В полете экипажи воздушных судов особенно чувствительны к неожиданному появлению яркого света. Такое освещение может быть ими воспринято как фактор потенциальной угрозы, такой, как возможность столкновения с другим воздушным судном или наземным препятствием. Пилоты, вследствие навыков, приобретенных при всестороннем обучении, в комбинации с собственными естественными биологическими рефлексам, инстинктивно направляют свое внимание в направлении любого нового неожиданного источника света для оценки его значения. Подобное отвлечение внимания, когда оно возникает в критической фазе полета, может иметь серьезные последствия безотносительно к тому, способен ли этот источник действительно вызвать поражение зрения. Если свет представляет собой лазерный луч, обладающий мощностью, превышающей значение МДМО (МРЕ), то результатом даже мгновенной прямой визуализации лазерного луча до компенсирующего смаргивания, может быть необратимое биологическое поражение, также как и острое нарушение зрительного восприятия.

3.8.3 Вследствие стробирующего эффекта некоторых видов импульсных лазерных лучей, они могут оказывать более сильное раздражающее воздействие, чем лучи лазеров, работающих в режиме непрерывной генерации с тем же средним значением мощности излучения.

3.8.4 Если свет оказывается всего лишь обычным раздражителем зрения, внимание пилотов снова быстро переключается на выполнение текущего процесса решения аэронавигационной задачи, быть может после не имеющей никакого значения задержки во времени. Но в случае, когда свет достаточно ярк, остаточные физиологические и зрительные биоэффекты могут помешать восстановлению нормального оптического и мыслительного восприятия и выполнению связанных с этим задач.

3.8.5 При подозрении на облучение лазером, то, по опыту, возникнет немедленная психологическая реакция как прямое следствие того, что по началу будет воспринято как серьезное поражение глаз, особенно, если свет был достаточно ярк, чтобы вызвать устойчивые зрительные эффекты. Такое психологическое состояние будет сохра-

няться, пока хотя бы частично не восстановится функция зрения, и полностью не утратится до окончательного возвращения способности видеть или пока не будут уверены, что поражение не носит постоянный характер. Поэтому возможно, что в течение некоторого времени, подвергшиеся облучению члены экипажа воздушного судна могут оказаться выведенными из строя в отношении способности зрительного восприятия и/или психологически. Реакции на эти события - следствия непредсказуемых качеств человеческой природы, но как учит нас опыт, достаточно сильное облучение лазером в таких условиях может стать причиной серьезного психологического расстройства, вызвать панику и необоснованную передачу управления воздушным судном другому члену экипажа. Ослепление резким светом (также называемым ярким блеском)

Резкий свет и яркий блеск

3.8.6 Ослепление от резкого света, или от яркого блеска - два часто взаимозаменяемых термина, обозначающие кратковременное нарушение зрительного восприятия без биологического поражения. Такое явление может быть вызвано воздействием света практически любого источника и особенно в скотопических условиях, когда глаза полностью адаптированы к темноте. Но наличие в пилотской кабине какого-либо источника резкого света нежелательно. Резкий свет обладает свойством притягивать взгляд, т.е. если направление взгляда смещается от источника, то ослепляющее воздействие резкого света ослабевает. Ослепление резким светом возникает только при включении источника. Продолжительность ослепляющего воздействия резкого света является функцией не только того, как долго он наблюдается, но также степени адаптации зрения к общим условиям освещения и размера зрачка глаза, в который он попадает. По силе воздействия резкий свет можно подразделить на дискомфортный и ослепляющий. Дискомфортный резкий свет - это свет, интенсивность которого достаточно велика, чтобы вынудить наблюдателя отвернуться. Если общая освещенность низка, то дискомфортный резкий свет имеет тенденцию оказывать раздражающее воздействие. Ослепляющий резкий свет - это свет, делающий невозможным видеть объект из-за слишком яркого освещения. Для обозначения свойства резкого света затруднять визуализацию того, что окружает источник за пределами его действительных размеров, используется понятие вуалирующего эффекта, которое является наиболее профессиональной характеристикой истинного уровня ухудшения зрительной деятельности.

3.8.7 Ослепляющий резкий свет от внешнего источника можно ослабить, устанавливая на его пути поверхности раздела, такие как ветровое стекло, фонарь пилотской кабины и используя другие оптические средства для рассеивания падающего света. Поцарапанные или загрязненные очки, контактные линзы, а также роговая оболочка и хрусталик глаза тоже ослабляют ослепляющее воздействие резкого света. С другой стороны, чем больше рассеивание, тем сильнее проявляется вредный эффект вуалирования резкого света.

3.8.8 Некоторые материалы, используемые для создания поверхностей раздела, могут также обладать способностью создавать вторичное излучение, характеризующееся определенными длинами волн. Вероятно, для невидимого лазерного излучения за пределами номинальной дистанции оптического поражения (НДОП (NOHD)) этот эффект не имеет существенного значения.

3.8.9 Показано, что чувствительность к резкому свету с возрастом возрастает, как функция возрастных изменений оптических средств глаза, и в частности, хрусталика. Как правило, видимый лазерный луч очень ярък, что может легко стать причиной возникновения ослепляющего резкого света. Резкий свет может исходить от лазерного луча испускаемого как в импульсном, так и в непрерывном режиме излучения, хотя предметом большого беспокойства являются НИ (CW) лазеры, т.е. лазеры непрерывного излучения. Кроме того, установлено, что в пределах видимого спектра волны любой длины обладают примерно одними и теми же характеристиками рассеивания. Следовательно, излучение любого цвета обладает способностью индуцировать резкий свет.

Кратковременная слепота

3.8.10 Кратковременная слепота представляет собой эффект от воздействия яркого света на процесс зрительного восприятия, сохраняющийся после снятия этого воздействия. Кратковременная слепота сохраняется, пока глаз пытается восстановить свое нормальное состояние после облучения ярким светом. Способность любого данного источника света вызвать кратковременную слепоту непосредственным образом связана с яркостью света и уровнем адаптации к темноте глаза, на который оказывается воздействие, в момент этого воздействия. Можно показать, что чем выше уровень освещенности внешней среды, к которому адаптирован глаз в момент облучения, тем ярче должен быть свет, потребный для индуцирования эффекта кратковременной слепоты. Отсюда непосредственно следует, что чем ярче свет, воздействующий на глаз в любой данной ситуации, тем дольше период вызванной им кратковременной слепоты. Это имеет прямое отношение к способности глаза возвращаться в нормальное состояние после обеления светочувствительных пигментов, вызванного новым ярким наружным светом. В течение восстановительного периода условия освещенности объекта, на котором сосредоточено внимание при выполнении оперативной задачи, будут также влиять на продолжительность времени, потребного для полного преодоления кратковременной слепоты. Если объект внимания при выполнении конкретной оперативной задачи хорошо освещен, то восстановительный период будет короче, чем в случае слабого освещения этого объекта. Продолжительность восстановительных периодов в том и другом случае отражает разницу в темпе возвращения к нормальному состоянию между палочками и колбочками.

3.8.11 Кратковременная слепота может продолжаться от нескольких секунд до нескольких минут, и, как уста-

новлено, для более пожилых людей этот период дольше. Его продолжительность определяется главным образом быстротой и эффективностью восстановительных механизмов, а также степенью кровоснабжения сосудов в глазной ткани, претерпевшей облучение. Непрерывное и импульсное лазерное излучение в одинаковой степени способно вызвать эффект кратковременной слепоты.

Остаточные изображения

3.8.12 Остаточные изображения - явление, относящееся к области восприятия, которое сохраняется после воздействия яркого света. Согласно описаниям, они имеют вид светлых, темных или цветных точек, возникающих в поле зрения сразу после облучения. Остаточные изображения – это по сути своего рода кратковременная слепота, хотя могут наблюдаться в течение более продолжительного времени, часто даже после полного восстановления способности к выполнению оперативных задач в пилотской кабине, требующих нормального зрительного восприятия. Эффекты остаточных изображений могут включать искаженное восприятие цветов, что вызывается селективным истощением пигмента колбочек, аналогично тому, что наблюдается при кратковременной слепоте. Однако, эффект остаточных изображений иногда сохраняется гораздо дольше, чем кратковременная слепота, – от минут до часов и даже нескольких дней, и может носить разнообразный характер в зависимости от фона объекта наблюдения. Как и кратковременная слепота, остаточные изображения сохраняются дольше у более пожилых людей. Их интенсивность, плотность и продолжительность находятся в прямопропорциональной зависимости от интенсивности света, спровоцировавшего их появление.

3.8.13 Остаточные изображения могут возникать после воздействия как видимого, так и невидимого излучения. Эффект остаточных изображений после воздействия невидимого излучения объясняется нормальной чувствительностью сетчатки к волнам определенной длины этого диапазона, т.е. к ограниченному УФ (UV) или ИК (IR) областям спектра, и действительно представляет собой проявление биологического поражения.

Скотомы

3.8.14 Скотома - это последствие поражения, носящее либо временный (обратимый), либо постоянный характер. Скотома в своей наиболее легкой форме проявляется как постепенно исчезающее остаточное изображение, но может также оказаться устойчивой, и это служит самым ранним признаком необратимого биологического поражения ткани. Обычно скотомы следуют за кратковременной слепотой, являясь отражением нормального биохимического процесса восстановления светочувствительных пигментов в палочках и колбочках. Скотома обычного типа может быть вызвана облучением ярким светом, но также появиться в результате воздействия невидимого излучения в определенном диапазоне длин волн.

3.8.15 Постоянная скотома может быть либо условной, либо абсолютной. Под условной скотомой понимают участок поля зрения, в котором объекты определенного размера, яркости или цвета могут быть видимыми, а объекты более мелкие, менее яркие или другого цвета зрительно не воспринимаются. Это свидетельствует о поражении сетчатки, но не о полной утрате ее зрительной функции, а также отражает степень распространения повреждения на прилежащие участки ткани, или указывает на нарушение кровоснабжения ее более отдаленных сосудов.

3.8.16 С другой стороны, абсолютная скотома - наиболее отчетливое проявление поражения зрения и по существу представляет собой участок поля зрения, где любые объекты, независимо от их размера, яркости или цвета остаются невидимыми. Фактически, это часть сетчатки, где уже не осталось никаких функционирующих нервных окончаний в результате прямого местного поражения ткани, нарушения сосудистого кровоснабжения или разрыва какого-то участка нейрональных путей.

3.8.17 Степень влияния таких скотом на зрительное восприятие зависит от их размеров и местоположения. Абсолютные скотомы даже мельчайших размеров могут иметь сокрушительные последствия для зрения если располагаются непосредственно в центральной ямке (центральной зрение) или со смещением на несколько градусов.

3.8.18 Колбочки сетчатки способствуют остроте зрения и максимально сконцентрированы в центральной ямке и вокруг нее, достигая максимальной плотности размещения в специальной области, так называемой "фовеоле" (ямочке). В этой области сетчатки острота зрения максимальна, как показано на рисунках 3-4 и 3-5. Этот обеспечиваемый посредством колбочек наивысший уровень остроты зрения в фовеоле называется **центральным зрением**. Однако, плотность размещения колбочек быстро падает как функция удаления от центральной ямки, особенно за пределами 10-градусного радиуса вокруг центральной ямки.

3.8.19 Это распределение колбочек является причиной того, что 6/6, или наивысшая острота зрения обеспечивается в пределах одного градуса вокруг центральной ямки, т. е. в фовеоле. В зоне, ограниченной пятью градусами, эффективность зрительного восприятия падает до значений приблизительно от 6/12 до 6/18, а в 10-градусной зоне происходит дальнейшее ухудшение зрения до величин от 6/18 до 6/24. Зрение за пределами центральной ямки определяется как **периферийное зрение**, которое обычно находится на уровне от 6/60 до 6/120, поскольку колбочек в этой зоне гораздо меньше и расположены они на значительно больших расстояниях друг от друга.

3.8.20 Поэтому, именно точное местоположение участка необратимого поражения относительно центральной ямки, является главным фактором, определяющим результирующий уровень функциональной остроты зрения. Лю-

бое поражение фокальной области глаза приводит к скотоме. Постоянные скотомы обычно связаны с видимыми поражениями сетчатки, но площадь скотомы бывает гораздо большей, чем можно ожидать, исходя из размера пораженного участка сетчатки, вследствие побочных эффектов гистологического повреждения окружающей ткани. Следовательно, размер и местоположение пораженного участка сетчатки определяет степень общего ухудшения зрения в результате любого конкретного поражения в глазу.

Ожоги сетчатки

3.8.21 Ожог сетчатки представляет собой наиболее серьезное постоянное поражение от интенсивного излучения, и является очень характерным признаком фототоксического поражения, вызванного воздействием лазерного луча. Поражение от лазерного луча, сфокусированного на сетчатке, более вероятно, чем от несфокусированного луча. Способность лазерного луча вызвать такое поражение используется в хирургической практике при лечении определенных офтальмологических заболеваний, например, таких как разрывы сетчатки или диабетическая ретинопатия. В последнем случае, путем применения аргонного лазерного луча было выполнено приблизительно 1500 преднамеренных ожогов сетчатки с целью снижения риска сосудистых новообразований, которые возникают примерно у пяти процентов больных диабетическим меллитом. Но если подобное поражение лазерным лучом нанесено здоровому глазу, то это серьезный несчастный случай. Возможно также, что гистологическое поражение другого происхождения, проявляющееся на уровне, не обнаруживаемом при офтальмоскопическом осмотре, становится причиной неожиданно глубоких нарушений зрения, когда ожог сетчатки не выявляется. Как указывалось выше, размер любого пораженного участка сетчатки обычно превышает видимые границы ранки вследствие действия других механизмов поражения ткани. Крошечный ожог сетчатки, который закупоривает или прерывает кровоснабжение сосудов, или приводит к нарушению нейрональных путей, поражает значительно большую поверхность сетчатки, хотя коллатеральное кровообращение в какой-то степени может ослабить этот эффект.

3.8.22 Способность лазерного луча вызвать ожог сетчатки рассматривается как наиболее злоеущий фактор угрозы здоровому глазу, и любые результирующие последствия для зрения будут напрямую зависеть от размеров и местоположения пораженного участка.

3.8.23 Прямое попадание лазерного луча в поле зрения по направлению оптической оси вызовет ожоги, чреватые более серьезными нарушениями зрения, чем ожоги со смещением от оптической оси. Сетчатка может перенести много мелких периферийных ожогов без каких бы то ни было явных физиологических последствий. Периферийные поражения, обычно не являясь симптоматическими, служат очевидным признаком существования в данной зоне воздушного пространства фактора угрозы серьезного лазерного облучения.

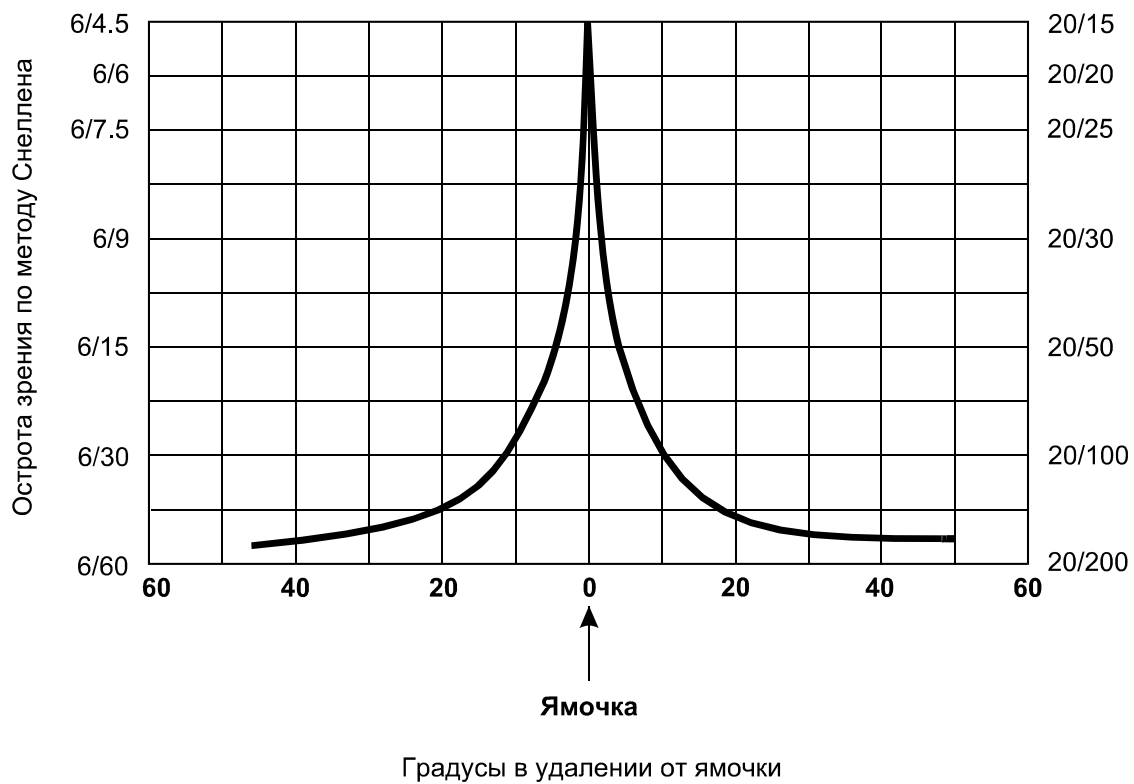


Рисунок 3-4. Острота зрения как функция распределения колбочек

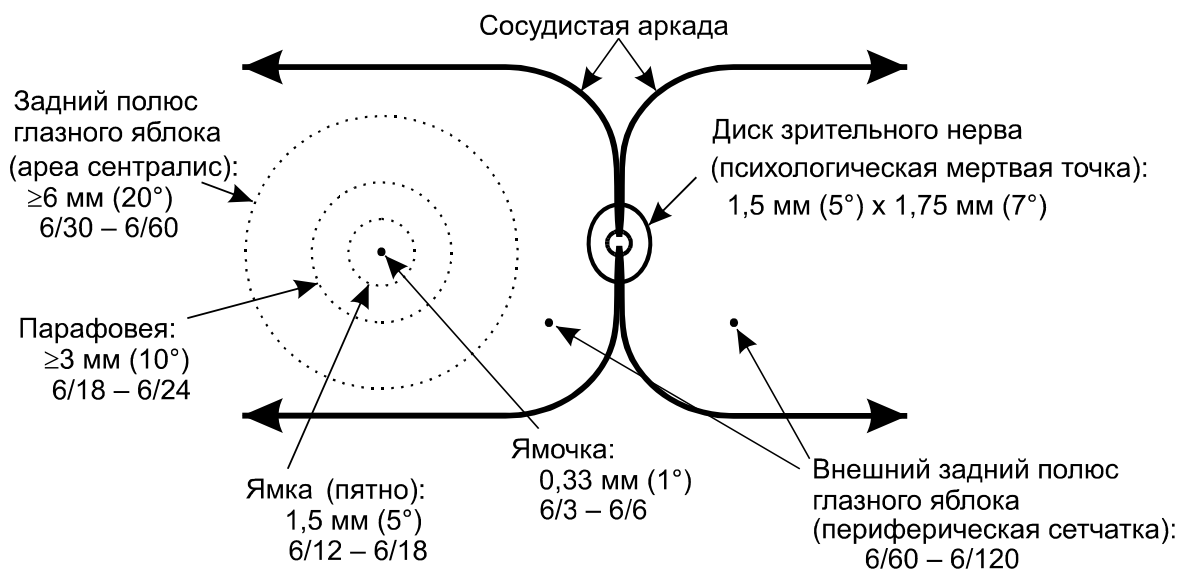


Рисунок 3-5. Острота зрения как функция положения изображения на сетчатке

Кроме того, лазерный луч обладает свойством сохранять значительную энергию даже после отражения от блестящей поверхности, поэтому даже если зрительное внимание не направлено непосредственно на источник лазерного излучения, можно получить поражение отраженным лазерным лучом по оптической оси зрения в самом неожиданном секторе наблюдения. В некоторых случаях, определенные источники отраженного излучения, такие, как вогнутые зеркала, могут устремлять лазерный луч на более далекие расстояния. Исследованиями в отношении свойства лазерного луча вызывать ожоги сетчатки обнаружено, что энергия, потребная для нанесения такого поражения, обычно возрастает с расстоянием до центральной ямки. Аналогично показано, что повторные облучения (многократные подпороговые воздействия излучения) какого-либо определенного участка могут снизить порог биологического поражения в этой области сетчатки. Это еще один аргумент в поддержку требования немедленно отвести взгляд от любого попавшего в глаза лазерного луча.

Кровоизлияния в сетчатку

3.8.24 Если под воздействием лазерного луча в глазу разрушится кровеносный сосуд, то это приведет к кровоизлиянию в сетчатку. Характеристика такого кровоизлияния зависит от местоположения пораженного сосуда в сетчатке, его распространения и от ориентации клеток структуры поврежденной области. Кровоизлияния, затрагивающие поверхностные сосуды сетчатки, имеют тенденцию заполнять слой нервных волокон, приобретая конфигурацию языков пламени по мере того, как кровь распространяется вдоль нервных волокон в радиальном направлении от глазного нерва. Кровоизлияния в слоях ткани сетчатки, расположенных глубже слоя нервных волокон, обычно имеют форму точек или пятен, образованных кровью из заглубленных сосудов, например, из сосудистой оболочки (средний слой) глаза. Возможно также такое разрушение сосуда или сплетения сосудов, что возникает внутриглазное кровотечение. При этом кровь может собираться на поверхности сетчатки (предсетчаточное кровоизлияние) или диффундировать в камеру стекловидного тела. Кровь, которая поступает внутрь стекловидного тела, имеет тенденцию сохранить вид локального кровоизлияния, особенно у молодых людей, но с возрастом желеобразное стекловидное тело разжижается, что позволяет крови распространиться по всей камере стекловидного тела. Это изменение является нормальным процессом старения организма, и носит название витреального разжижения, но может быть результатом и какого-либо патологического процесса, например, возникнуть вследствие травмы.

3.8.25 Кровоизлияние может очень сильно сказаться на зрении. Восстановление нормального состояния в этом случае зависит от местоположения кровоизлияния и степени других разрушений клеточной структуры, а также от темпа реабсорбирования крови, например, из стекловидного тела, где она играет роль светонепроницаемого

фильтра. Обычно, период, в течение которого кровь в камере стекловидного тела самопроизвольно рассасывается, занимает приблизительно от шести до двенадцати месяцев, но это происходит не всегда. Во многих случаях для восстановления прозрачной оптической среды внутри камеры стекловидного тела требуется удаление мутного образования хирургическим путем (витректомия). Иногда кровь в стекловидном теле образует фибромы в виде локализованных участков помутнения или становится причиной возникновения волокнистых переплетений, которые могут вызывать вытяжение или разрывы ткани сетчатки.

Разрыв глазного яблока

3.8.26 Лазерный луч способен разрушить ткань до такой степени, что произойдет не ожог и не кровоизлияние, а скорее разрыв. Такое поражение может вызвать воздействие лучом пиковой мощности излучения с определенной длиной волны. Этот эффект можно использовать и в терапевтических целях для разрушения ненужных пленочных образований или участков растянутой ткани внутри глаза. Такое разрушение может быть полным, либо проникающим через весь слой ткани, такой как сетчатка и сосудистая оболочка, либо, с помощью более мощных лазеров, вызывающим разрез или образование сквозного отверстия в цельной внешней оболочке глаза, т.е. разрыв белочной оболочки глазного яблока. Чтобы лазерный луч сохранил способность вызывать такое поражение на значительном расстоянии, потребна очень высокая мощность излучения, маловероятная для лазерных лучей, с которыми сталкивается гражданская авиация при выполнении обычных ежедневных полетов. Кроме того, лазеры, обладающие такой пиковой мощностью на большой дальности, скорее всего были бы способны причинить гораздо более серьезный ущерб, чем потемнение в глазах и нарушение условий видимости.

Прочие

3.8.27 Кроме ранее рассмотренных физиологических и зрительных поражений, вызываемых лазерным облучением, существуют и другие воздействия излучения, которые также необходимо учесть. Вполне обычной реакцией на воздействия яркого света, особенно если он вызывает некие неприятные ощущения или поражение зрения, бывает желание протереть глаза. Это в свою очередь может привести к механической травме роговицы или слизистой оболочки глаза, не связанной с действием биологических механизмов поражения лазерным излучением. Например, слишком интенсивное протирание глаз может стать причиной кровоизлияния в слизистую оболочку и повреждения поверхностного эпителия роговой оболочки, или даже потергостей роговицы, ведущих к проявлению симптомов осложнения и дискомфорта, непосредственно не связанных с лазерным облучением, но часто его сопровождающих. Все это может вырасти в еще большую проблему, если при протирании в глазах находились контактные линзы, особенно выполненные из жестких материалов.

3.8.28 На основании изложенного, использование средств коррекции остроты зрения, а также любые отрицательные воздействия на зрение должны быть тщательно зафиксированы в медицинской карточке, чтобы при медицинском осмотре на месте, или в последствии, при анализе инцидента специалистами, можно было бы выявить причину и следствие. В каждом случае нужно зарисовывать с максимально возможной точностью, в каком конкретном месте роговицы или сетчатки расположен связанный с инцидентом участок поражения, воспроизводя его форму. Это имеет чрезвычайно важное значение, поскольку в какой-то момент подобные инциденты неизбежно становятся предметом медицинских, профессиональных, юридических и политических споров.

3.8.29 Помимо описания биологических механизмов поражения и соответствующих биоэффектов, вызванных лазерным облучением, необходимо рассмотреть в различных аспектах последствия такого воздействия на зрительное восприятие. Категориями зрительного восприятия, связанными либо с временными, либо с постоянными последствиями лазерного облучения, являются: острота центрального зрения, острота периферийного зрения, цветовосприятие, контрастная чувствительность и стереоскопическое восприятие. Поэтому последствия поражения от конкретного лазерного луча должны рассматриваться с учетом возможного ущерба в отношении и этих качеств зрения. Во многих случаях упомянутые зрительные функции поддаются тестированию для определения отклонений от нормы и наблюдения за восстановительным процессом. Необходимо заметить, что использование фильтров при анализе восприятия цветов (как в красно/зеленой, так и желто/синей областях спектра) может быть практически полезным для идентификации светотоксичного поражения сетчатки и помогает выявить поражение лазерным лучом даже тогда, когда тестирование по сетке Амслера и на остроту зрения по методу Снеллена дает результат, соответствующий норме. Возможность идентифицирования светотоксичных поражений посредством тестирования на цветовосприятие была продемонстрирована с целью увеличить способность теста по сетке Амслера указать на действительное наличие лазерного поражения. Поэтому, тестирование на цветовосприятие (включая красно/зеленую, и желто/синюю области спектра) остается важным инструментом для оценки уровня любого, светового или лазерного излучения и степени потенциального поражения, вызываемого его воздействием.

3.8.30 Вследствие индивидуальных изменений в пораженном глазу точно предсказать темп и степень выздоровления практически невозможно. Чем ближе пораженный участок к желтому пятну, тем выше вероятность значительного ухудшения зрения, но один только внешний вид поражения не всегда служит хорошим индикатором функции зрения. В некоторых случаях глаз, имеющий обширный пораженный участок, видимый через офтальмоскоп, сохраняет на удивление хорошую функцию зрения. В других случаях в глазу со сниженной функцией зрения пораженный участок офтальмоскопически почти незаметен. Здоровая сетчатка прозрачна и только посредством

некоторых новейших приборов, таких как софокусный сканирующий офтальмоскоп, можно наблюдать слабые изменения в ее ткани. Наиболее слабые поражения невозможно выявить иначе, чем при помощи электронного микроскопа. Поражения роговой оболочки оценить клинически несколько легче. Что касается сетчатки, то решающее значение имеет местоположение пораженного участка. Маленький шрам на роговице, задевающий оптическую ось глаза, будет очень серьезной помехой для зрительного восприятия, тогда как плотный периферийный роговичный шрам может никак не влиять на остроту зрения.

3.9 ПЕРСПЕКТИВЫ

3.9.1 Несмотря на то, что о биоэффектах лазерного излучения многое известно, распространение лазерной техники вынуждает проведение постоянных научных исследований, поскольку разрабатываются лазеры с излучением в новых диапазонах длин волн и с другими характеристиками. Несколько проблем, вызывающих озабоченность в отношении лазерного облучения, остаются не решенными, например, кумулятивные эффекты многократного воздействия лазерного излучения малой мощности и возрастные изменения чувствительности к облучению.

3.9.2 Другим предметом исследований являются медикаменты для защиты слоя нервных волокон сетчатки. Поскольку до сих пор никаких эффективных защитных реагентов не выявлено, в настоящее время прослеживается действие нескольких препаратов, относящихся к различным типам лекарственных средств, в надежде полностью исключить или снизить чувствительность сетчатки к поражению лазерным облучением.

3.9.3 С другой стороны, возрастающее применение самых разнообразных медикаментов может усилить светочувствительность кожи и глаз, тем самым подняв восприимчивость к светотоксичному воздействию. Научные исследования в этой области весьма затруднительны, т.к. отличаются высокой стоимостью, сложностью, большими временными затратами и потребовали бы привлечения громадного объема как натуральных, так и синтетических препаратов из постоянно растущей фармакопеи.

3.10 МЕДИЦИНСКАЯ ОЦЕНКА ИНЦИДЕНТОВ, СВЯЗАННЫХ С ЛАЗЕРНЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ

3.10.1 Медицинский инструментарий и методологии, рекомендуемые для оценки степени поражения при подозрении на лазерное облучение, описаны в главе 7. Чрезвычайно важно, чтобы все обстоятельства облучения во всех подробностях были точно зафиксированы сразу же, как только это станет возможным, т.к. при рассмотрении инцидента они могут иметь решающее значение для любой из сторон в профессиональном, медицинском и юридическом аспектах, а также в аспекте производства полетов.

Как показывает опыт, во многих случаях ущерб, приписываемый лазерному облучению, имел на самом деле совершенно иную причину. Ярким примером этого служит приведенный ниже рапорт.

29 ноября 1996 г., примерно в 6 ч 50 мин вечера по местному времени командир воздушного судна (КВС) Embraer 120 начал испытывать непрекращающуюся боль в глазу после воздействия лазерного облучения при заходе на посадку в Лос Анжелесе (Калифорния, США). Самолет находился на высоте 6000 фт над средним уровнем моря в визуальных метеорологических условиях полета, на участке между третьим и четвертым разворотами перед выполнением визуальной посадки справа на полосу 24R. Когда КВС, глядя через правое стекло кабины, отслеживал возможное появление в поле зрения какого-либо другого воздушного судна, в его правый глаз попал яркий луч синего света. Полет продолжался, и для КВС из-за растущей боли и рези в правом глазу видеть им стало труднее. К моменту, когда самолет был выведен на окончательный участок маневра захода на посадку, состояние КВС стало настолько дискомфортным, что он передал управление самолетом второму пилоту, который и завершил посадку. КВС немедленно обратился за медицинской помощью, и осмотр в местной больнице выявил множественные ожоги роговой оболочки его правого глаза. КВС был также осмотрен специалистами лаборатории имени Армстронга (Brooks AFB, г. Сан Антонио, шт. Техас). Этот осмотр не обнаружил никаких признаков постоянных последствий облучения. Расследование, предпринятое службой анализа полетных данных (FDA) с целью найти источник лазерного излучения, оказалось безуспешным. Никакого извещения для пилотов (NOTAM) относительно работы лазерных излучателей в районе Лос Анжелеса к моменту инцидента не поступало.

(Сводка из полного доклада LAX971A056
службы NTSB)

3.10.2 Согласно этому докладу, первоначальный диагноз о поражении роговицы ("множественные ожоги роговой оболочки правого глаза") нельзя отнести на счет видимого лазерного излучения, т.к. свет проникает через роговицу, не причиняя ей никакого вреда. Поражение роговицы было вызвано, скорее всего, протиранием глаза после воздействия светового луча.

3.10.3 Неспособность некоторых диагностов определить, что поражение глаза вызвано не лазерным облучением, а последующими действиями, объясняется недостаточным пониманием значения этих действий и неадекватным опытом диагностики поражений такого типа. Людям свойственно интенсивно тереть испытывавший резкое воздействие глаз, будь то в результате облучения или при

попадании соринки. Они часто это делают инстинктивно, иногда находясь в паническом состоянии, и настолько грубо, что повреждают слизистую оболочку или роговицу. Это повреждение может быть неправильно реконструировано как непосредственно вызванное самим лазерным лучом, тогда как на самом деле представляет собой механическую травму, самостоятельно нанесенную себе пациентом действиями, последующими за облучением. Поэтому крайне важно, в случае подобных инцидентов, чтобы пациентов осматривали узкие специалисты с адекватным опытом, обладающие знаниями относительно внешнего вида поражения и характеристик источника излучения. Только такие эксперты в состоянии определенно установить, были или не были эти поражения связаны с лазерным облучением.

3.10.4 Физические характеристики и другие подробные обстоятельства, касающиеся лазерного излучения и факта облучения, должны быть тщательно проанализированы. Большей частью, это остается за пределами возможностей обычных практикующих врачей из-за недостатка у них компетентной подготовки по лазерам и по биоэффектам лазерного излучения. Ввиду отсутствия национальных центров по руководству за лечением поражений от лазерного облучения, необходимо учредить международный контактный пункт для облегчения процедуры описания подобных инцидентов.

Библиография

American National Standards Institute ANSI Z136.3-1996. "Laser Safety and Healthcare Environment".

Boettner, E.A. and J.R. Wolter. "Transmission of the Ocular Media". *Investigative Ophthalmology and Visual Science* 1, pp. 776-783.

Green, R.P., R.M. Cartledge, F.E. Cheney and A.R. Menendez "Medical Management of Combat Laser Eye Injuries". USAFSAM-TR-88-21, October 1988.

[Requests can be addressed to: Freedom of Information Act Office (FOIA), 311th CS/SCSD, 8101 Arnold Drive, Brooks AFB, TX 78235-5367, United States.]

International Electrotechnical Commission IEC 60825-8: 1999. "Safety of Laser Products, Part 8; Guidelines for the Safe Use of Medical Laser Equipment".

Ivan, D.J. and H.J. O'Neill. "Laser Induced Acute Visual and Cognitive Incapacitation of Aircrew, Protection Management, and Cockpit Integration". AGARDOGRAPH AGARD-AR-354, Chapter 11: pp. 73-85, April 1998.

[Requests can be addressed to: NATO Research and Technology Organization, BP-25, 7 Rue Ancelle, F-92201, Neuilly-Sur-Seine, CEDEX, France.]

Lerman, S. *Radiant Energy and the Eye*. Macmillan Publishing Co., Inc. New York, 1980.

Sliney, D.H. and M.L. Wolbarsht. *Safety with Lasers and Other Optical Sources – A Comprehensive Handbook*. Plenum Press, New York, 1982.

Thomas, S.R. “Review of Personnel Susceptibility to Lasers: Simulation in Simnet-D for CTAS-2.0”. AL/OE-TR-1994-0060, January 1994.

[Requests can be addressed to: Freedom of Information Act Office (FOIA), 311th CS/SCSD, 8101 Arnold Drive, Brooks AFB, TX 78235-5367, United States.]

Zuclich, J.A. and J. Taboada. “Ocular Hazard from UV Laser Exhibiting Self-Mode-Blocking”. *Applied Optics* 17, pp. 1 482-1 484.

Глава 4

ПРОИЗВОДСТВО ПОЛЕТОВ И ОБУЧЕНИЕ ЭКИПАЖЕЙ

4.1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

4.1.1 В последние годы появляется все возрастающее количество сообщений об облучении членов экипажей воздушных судов в полете лазерными излучателями. Такие инциденты происходят преимущественно в районах аэропортов, расположенных вблизи больших городов, курортов и мест проведения развлекательных мероприятий. Облучения вызывают ответную реакцию неприятия (моргание, отвод глаз, поворот головы), а также приводят к временному ухудшению зрения (TVI), временной потере зрительного восприятия (TVL), разнообразным психологическим проявлениям и действиям неопределенного характера.

19 ноября 1993 г., в 10 часов вечера по местному времени самолет В-737, вылетающий из Лас Вегаса (шт. Невада, США), подвергся воздействию лазерного луча зеленого цвета на высоте 500 фт над землей. Луч попал в пилотскую кабину через боковое стекло правого летчика, в результате чего у обоих пилотов наступила кратковременная слепота, продолжавшаяся в течение 5 - 10 с. Второй пилот сообщил о проблемах с его правым глазом, и после завершения полета ему потребовалась медицинская помощь. Командир корабля высказал мнение, что если бы лазерный луч прошел через переднее стекло и осветил обоих пилотов под более острым углом к направлению полета, они бы полностью потеряли контроль над воздушным судном. Как сообщалось, источник лазерного излучения находился в одном из отелей недалеко от аэропорта.

(Сводка из доклада о нештатных ситуациях,
24 ноября 1993 г.)

4.1.2 В течение последующих двух лет в районе аэропорта Лас Вегаса было зарегистрировано более 150 случаев облучения воздушных судов дальних и региональных авиалиний, военных самолетов и вертолетов местных служб, включая службы срочной медицинской помощи и правоохранения.

30 октября 1995 г., в 6 ч. 10 мин. вечера по местному времени второй пилот, управлявший воздушным судном В-737, вылетающим из Лас Вегаса, был облучен лазером в процессе подъема на высоте 4500 фт над землей. Он сразу же почувствовал боль в правом глазу, который оказался полностью ослеп-

лен. Зрение в левом глазу также ухудшилось из-за остаточных изображений. Потерпевший сообщил, что в течение первых 30 с он ничего не видел, и еще две минуты не мог различать показания приборов. Командир корабля принял управление на себя и продолжил набор высоты.

(Сводка из доклада LAX961A032 на основании
базы данных об авиационных происшествиях
и инцидентах службы NTSB)

4.1.3 Эти инциденты ясно показывают, что временное ухудшение зрения (TVI) от облучения, значительно меньше, чем обычно возникающее при физическом поражении глаза, может сильно повлиять на безопасность полетов. 11 декабря 1995 г. в Лас Вегасе был введен запрет на любое использование лазерного излучения в открытом пространстве.

4.1.4 Возможны две ситуации, когда использование лазерного излучения в открытом пространстве может сильно повлиять на безопасность полетов. Первая - если превышено значение МДМО (МРЕ) и можно ожидать физического поражения глаза. Вторая - когда значение МДМО (МРЕ) не превышено, но функциональные ухудшения зрительного восприятия, такие как кратковременная слепота, остаточные изображения и ослепление ярким светом могут помешать пилотам выполнять необходимые действия в критических фазах полета. Две вышеприведенные выдержки представляются примерами второй ситуации.

4.1.5 Очевидно, что облучение лазером в критических фазах полета (особенно при выполнении процедур, требующих разворотов в стабилизированных условиях) приводит к возникновению риска для безопасности полета в результате зрительных, вестибулярных и психологических эффектов, которые каждый в отдельности или в совокупности могут вызвать потерю ситуационной ориентации (LSA). При временном ухудшении зрения (TVI) пилоту остается полагаться на информацию от других органов чувств, которая может оказаться неадекватной ситуации, но неотразимой, ведущей к неправильным решениям. TVI может привести к испугу, вызвать тревогу, нервный срыв, потерю ориентации в пространстве, а в экстремальных случаях полную потерю способности выполнять необходимые действия.

4.1.6 Большую часть информации в полете пилоты получают визуально, и чтобы поддерживать контроль над ситуацией в динамически меняющейся обстановке, они полагаются на частое считывание показаний приборов. Степень такой зависимости возрастает в ночных полетах и становится полной в полетах в приборных метеорологических условиях (ПМУ (IMC)).

4.1.7 Важно понимать, как пилоты интерпретируют, обобщают и обрабатывают информацию не имея визуального контакта с внешним миром. Тщательное обучение слепому полету является необходимым предварительным условием нормального пилотирования, правильного обобщения информации и адекватной оценки ситуации при производстве полетов в соответствии с Правилами полетов в приборных метеорологических условиях (ППП (IFR)).

4.1.8 Пилоты используют технику быстрого оглядывания показаний всех приборов, а не смотрят на них безотрывно. Пилоты мысленно выстраивают положение воздушного судна в пространстве, исходя из предоставляемой приборами информации. Пространственная ориентация обеспечивается деятельностью мозга, непрерывно сравнивающей поступающую зрительную информацию с предшествующей осмысленной моделью. Когда позволяют условия, эта модель постоянно обновляется соотносительно с наблюдаемой картиной внешнего мира, подвергаемой сравнению и мыслительной обработке.

4.2 АДЕКВАТНАЯ ОЦЕНКА СИТУАЦИИ

4.2.1 Понятие адекватной оценки ситуации характеризует точность отражения реальности в человеческом восприятии. Адекватность оценки ситуации (АОС (SA)) определяется несколькими факторами. Любое событие, приводящее к потере АОС (SA), может представлять угрозу безопасности полета. Одним из самых важных, и в то же время одним из наиболее вероятно поражаемых факторов при воздействии лазерного излучения, является пространственная ориентация.

4.2.2 Потеря пространственной ориентации называется дезориентацией в пространстве (ДП (SD)). Выделяют три типа ДП (SD) :

- Тип 1 (не осознаваемая ДП (SD)) - когда человек не осознает, что потерял пространственную ориентацию.
- Тип II (осознаваемая ДП (SD)) - когда человек понимает, что потерял пространственную ориентацию и способен ее восполнить.
- Тип III (ДП (SD)), лишаящая способности действовать) - когда человек понимает, что потерял пространственную ориентацию, но не способен ее восполнить.

4.2.3 Лазерное излучение способно вызвать любой из трех вышеуказанных типов ДП (SD), но наиболее вероятными следует считать тип II и тип III.

4.3 ОРИЕНТАЦИЯ В ПОЛЕТЕ

4.3.1 Ориентация в полете определяется, главным образом, опорной информацией, поступающей по следующим четырем каналам восприятия действительности органами чувств человека:

- а) **Визуальный (зрение).** Это единственный и наиболее важный канал, обеспечивающий пространственную ориентацию в процессе полета. Когда зрение повреждается, ухудшается пространственная ориентация, т.к. информация о перемещении и положении в пространстве, предоставляемая другими органами чувств, не является надежной в полете.

Зрение подразделяется на периферийное и центральное. Периферийное зрение характеризуется низкой разрешающей способностью, но очень чувствительно к восприятию движения и света. Главной задачей, решаемой периферийным зрением, является поиск ответа на вопрос "где?", способствуя таким образом пространственной ориентации. Центральное зрение обеспечивает резкость изображения и цветовосприятие, но менее чувствительно к свету. Его прежде всего интересует ответ на вопрос "что?". При потере визуального канала, неадекватная, но неотразимая информация от других органов чувств вызывает разнообразные иллюзии, иногда приводящие к ошеломляющим проявлениям ДП (SD).

- б) **Вестибулярный (чувство равновесия).** Вестибулярный аппарат предоставляет информацию о движении и равновесии от внутреннего уха. Кроме того, внутреннее ухо выдает информацию об изменении давления окружающего воздуха. В обычных условиях информация, поступающая по зрительному каналу, подавляют информацию от других органов чувств. Поскольку по характеру движения полет отличается от всех других видов ежедневной активности человека, потеря визуального канала имеет критическое значение, т.к. информация только по вестибулярному каналу может привести к иллюзорному восприятию положения и движения воздушного судна в пространстве. Например, для раздражения внутреннего уха достаточно создать угловое ускорение в пределах от 0.5 до 2.2 градусов в секунду. Когда воздействие углового ускорения снимается, как в начале выполнения разворота с постоянной угловой скоростью, вестибулярный аппарат утрачивает способность ощущать разворот. Если канал визуального восприятия отсутствует, пилоты не в состоянии осознать, что воздушное судно продолжает разворот.

с) **Проприосепция (кинестетическое чувство).** Разнообразные чувствительные нервные окончания в коже, мышцах, связках и более глубоких структурах воспринимают механические раздражения, и поэтому испытывают влияние воздействующих на тело сил. Проприосептивные механорецепторы предоставляют полезную информацию о равновесии, основанную на ощущении положения в пространстве и движении. Пилотам знакомо кинестетическое чувство, которое они чаще определяют как подсознательную способность "чувствовать спиной". Взятое в отдельности, кинестетическое чувство ненадежно, не может дать ясного представления о положении воздушного судна в пространстве, но может быть легко преодолено более сильными сенсорными раздражителями.

д) **Слух (аудирование).** Слуховая система организма предоставляет информацию о силе, высоте и направлении звука. Пилоты приобретают способность различать характерные шумы в полете, например, улавливать изменение шума воздушного потока, омывающего лобовое стекло кабины, при увеличении или снижении скорости воздушного судна и определять по звуку изменение режима работы двигателей.

4.3.2 Потеря возможности зрительной ориентации, вызванная лазерным облучением, вкупе с неадекватной информацией от вестибулярного аппарата, проприосептивной механо-рецепторной и слуховой систем могут привести к дезориентации в пространстве (часто называемому пилотами "головокружением"), что в свою очередь может стать причиной авиационного происшествия. Поэтому рекомендуется проводить с пилотами занятия с демонстрацией пространственной дезориентации и по изучению лазерного излучения.

4.4 ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ

Предполетные процедуры

- Ознакомиться с извещениями для пилотов (NOTAM) с целью определения мест размещения и времени работы лазерных излучателей, а также выбора запасных маршрутов.
- Просмотреть аэронавигационные карты на предмет определения мест постоянной работы лазерных излучателей (парков отдыха с аттракционами, научно-исследовательских баз и т. д.).

Процедуры в полете до вхождения в известную зону работы лазерных установок

- Включить бортовые огни, чтобы с земли было легче заметить воздушное судно и определить его местоположение.

- Включить автопилот.
- Одному из пилотов сосредоточить все внимание на приборах с целью минимизировать последствия возможного лазерного облучения.
- Включить внутреннее освещение кабины пилотов.

Процедуры в полете во время и после облучения кабины пилотов лазерной установкой

4.4.1 Если пилот подвергся облучению ярким светом, предположительно исходящим от лазерного излучателя, рекомендуется выполнить ряд последовательных действий, чтобы снизить риск совершения какой-то операции, могущей привести к снижению безопасности полета:

- Отвернуться от источника лазерного излучения.
- Заслонить глаза от источника лазерного излучения.
- Сообщить другому пилоту о нарушении зрения.
- Передать управление воздушным судном другому пилоту.
- Переключиться на выполнение полета по приборам.
- Включить автопилот.
- Изменить направление полета воздушного судна так, чтобы лазерный луч не попадал в кабину.
- Оценить способность зрительного восприятия, например, считыванием показаний приборов или рассмотрением карты подходов.
- Не тереть глаза.
- Известить службу управления воздушным движением (УВД (АТС)) о подозрении на облучение воздушного судна лазером, и в случае необходимости заявить о возникновении аварийной ситуации на борту.

4.4.2 Очень важно сообщить о подозрении на облучение воздушного судна лазером соответствующие руководящие органы. После посадки пилот должен поставить в известность об инциденте свое начальство, приведя все подробности случившегося, и безотлагательно пройти медицинское освидетельствование, предпочтительно у квалифицированного специалиста-офтальмолога. Документация по инцидентам и медицинским освидетельствованиям рассмотрена в главах 6 и 7, соответственно.

Глава 5

БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ

5.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

5.1.1 В настоящей главе содержатся рекомендации по определению и минимизации потенциально неблагоприятных последствий работы лазерных излучателей на открытом воздухе для безопасности полетов. Меры предосторожности* в отношении лазерных излучателей и критерии определения разграничительных зон полетов приведены в следующих документах ИКАО:

Приложение 11 – Обслуживание воздушного движения

“2.17.5 Следует провести ряд адекватных мероприятий в целях предупреждения нежелательного влияния лазерного излучения на осуществление полетов.”

Приложение 14 – Аэродромы, том 1, Проектирование и эксплуатация аэродромов

”Лазерные излучатели, которые могут создавать опасность для безопасности полетов

”5.3.1.2 **Рекомендации:** Для защиты воздушных судов от опасного воздействия лазерных излучателей, вокруг аэродромов следует установить следующие разграничительные зоны:

- Свободная (от лазерного излучения) зона полетов (СЗП (LFFZ))
- Критическая зона полетов (КЗП (LCFZ))
- Уязвимая зона полетов (УЗП (LSFZ))

”Примечание 1.– Для определения значений мощности излучения и расстояния до его источника в целях обеспечения адекватной защиты воздушных судов в полете можно использовать рисунки 5-10, 5-11, 5-12.

”Примечание 2.– Ограничения по использованию лазерных лучей в трех упомянутых зонах полетов (СЗП (LFFZ), КЗП (LCFZ) и УЗП (LSFZ)) касаются только видимого диапазона лазерного излучения. Исключение составляют лазерные излучатели, применяемые вышестоящими органами, способом, совместимым с требованиями безопасности полетов. Во всем навигационном воздушном пространстве энергетическая освещенность от любого лазерного луча, видимого или невидимого, всегда должна быть меньше или равна установленному значению макси-

мально допустимой мощности облучения (МДМО (MPE)), за исключением случаев, когда об излучении объявлено заранее и на это получено соответствующее разрешение.

“Примечание 3.– Разграничительные зоны полетов устанавливаются в целях уменьшения риска облучения действующими лазерными излучателями вблизи аэродромов. Настоящим положением не предусматривается возложение какой-либо ответственности на эксплуатантов аэропортов.”

5.1.2 Договаривающиеся государства могут руководствоваться следующими положениями по осуществлению контроля за опасностью лазерного излучения или по установлению соответствующих правил согласно рекомендациям Приложений 11 и 14:

- a) Никакое лицо не должно преднамеренно нацеливать или вызывать нацеливание лазерного луча или другого направленного светового излучения высокой интенсивности на воздушное судно способом, создающим угрозу безопасности полета, целостности воздушного судна или здоровья членов экипажа или пассажиров.

Примечание.– См. также Приложение 14, том I, параграф 5.3.1.1

- b) Любое лицо, использующее или планирующее использовать лазеры или другие источники высокоинтенсивного светового излучения в открытом пространстве, способом, в результате которого лазерный луч может проникнуть в навигационное воздушное пространство, обладая достаточной мощностью, чтобы представлять угрозу безопасности полетов, должно представить письменное уведомление компетентному органу власти .
- c) Любой пилот, осуществляющий управление воздушным судном, не должен преднамеренно направлять воздушное судно на лазерный луч или другой луч света высокой интенсивности, если не обеспечивается безопасность полета. Это может потребовать согласования между оператором лазерного излучателя или источника света, пилотом, осуществляющим управление воздушным судном, и компетентным органом власти.

* Указанные меры предосторожности не предназначены для возложения ответственности за их соблюдением на диспетчеров аэропортов.

5.2 ОГРАНИЧЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

5.2.1 Для обеспечения безопасности полетов вблизи аэродромов, мест базирования вертолетов и других участков подобного назначения, таких, как коридоры для полетов на малых высотах по Правилам визуальных полетов (ПВП (VFR)), необходимо предпринять меры по защите уязвимого воздушного пространства от опасности проникновения лазерного излучения. Для невидимых лазерных лучей определение конкретного значения номинальной дистанции оптического поражения (НДОП (NOHD)) должно быть предметом специального рассмотрения.

5.2.2 В соответствии с параграфом 5.3.1.2 Приложения 14, воздушные пространства вокруг аэродромов в аспекте возможного лазерного облучения должны подразделяться на уязвимые, критические и свободные зоны полетов, чтобы предупредить попадание видимого лазерного луча в поле зрения пилотов, даже если не превышено установленное значение максимально допустимой мощности излучения (МДМО (MPE)). Видимый лазерный луч не должен проникать ни в одну из этих зон, когда вызываемая им энергетическая освещенность превышает соответствующий уровень зрительной интерференции, если не приняты адекватные меры защиты от возможного облучения людей. Лазеры с мощностью излучения, меньшей значения МДМО (MPE), но превышающей установленные значения для уязвимой или критической зоны, могут эксплуатироваться, соответственно, либо в уязвимой, либо в критической зоне полетов, если приняты адекватные меры по предупреждению попадания воздушных судов на траекторию луча.

Свободная (от лазерного излучения) зона полетов (СЗП (LFFZ))

5.2.3 СЗП (LFFZ) – воздушное пространство в непосредственной близости от аэродрома до высоты 600 м (2000) фт, включительно, над землей, в пределах 3700 м (2 морских мили) во всех направлениях от осевой линии ВПП, плюс ее продолжение 5600 м (3 морских мили) и протяженность в ширину 750 м (2500 фт) по обе стороны от продолжения осевой линии каждой эксплуатируемой ВПП. В этой зоне полетов интенсивность лазерного излучения ограничена до уровня, при котором возможность какого либо нарушения зрения маловероятна.

- a) При параллельных ВПП разметка зоны производится от осевых линий ВПП в направлении их внешних кромок, плюс воздушное пространство между осевыми линиями ВПП.
- b) В воздушном пространстве этой зоны мощность излучения не должна превышать 50 нВт/см^2 , если

не применяется какой-либо способ его ослабления. Достигаемый при этом уровень яркости таков, что лазерный луч неразличим на фоне естественного освещения.

- c) Чтобы допустить эксплуатацию лазерных излучателей в воздушном пространстве ниже траектории захода на посадку, можно использовать глиссаду 1:40 на расстоянии 5600 м. Глиссада рассчитывается от порога ВПП.

Критическая зона полетов (КЗП (LCFZ))

5.2.4 КЗП (LCFZ) – воздушное пространство в пределах 18500 м (10 морских миль) от контрольной точки аэродрома (КТА (ARP)), до высоты 3050 м (10000 фт), включительно, над землей (см. рисунки 5-1, 5-2 и 5-3). Размеры этой зоны могут уточняться с учетом плотности воздушного движения. В воздушном пространстве этой зоны мощность излучения не должна превышать 5 мВт/см^2 , если не применяется какой-либо способ его ослабления. Излучение такой мощности хотя и способно вызвать ослепляющие эффекты, но уровень яркости при этом не достаточен для возникновения кратковременной слепоты или остаточных изображений.

Уязвимая зона полетов (УЗП (LSFZ))

5.2.5 УЗП (LSFZ) - воздушное пространство за пределами СЗП (LFFZ) и КЗП (LCFZ), в котором мощность излучения не должна превышать 100 мВт/см^2 , если не применяется какой-либо способ его ослабления. Уровень яркости при этом таков, что могут начать возникать эффекты кратковременной слепоты или остаточные изображения малой продолжительности, но этот предел мощности определяет собой защиту от более серьезных последствий облучения для зрения. УЗП (LSFZ) не обязательно является смежной с другими зонами полетов.

Зона нормальных полетов ЗНП (NFZ)

5.2.6 ЗНП (NFZ) - любое навигационное воздушное пространство, не определяемое как СЗП (LFFZ), КЗП (LCFZ) или УЗП (LSFZ). ЗНП (NFZ) должна быть защищена от лазерного излучения, способного причинить биологическое повреждение зрению.

5.2.7 На рисунках 5-1 – 5-3 изображены разграничительные зоны полетов, устанавливаемые для защиты воздушных судов в навигационном воздушном пространстве.

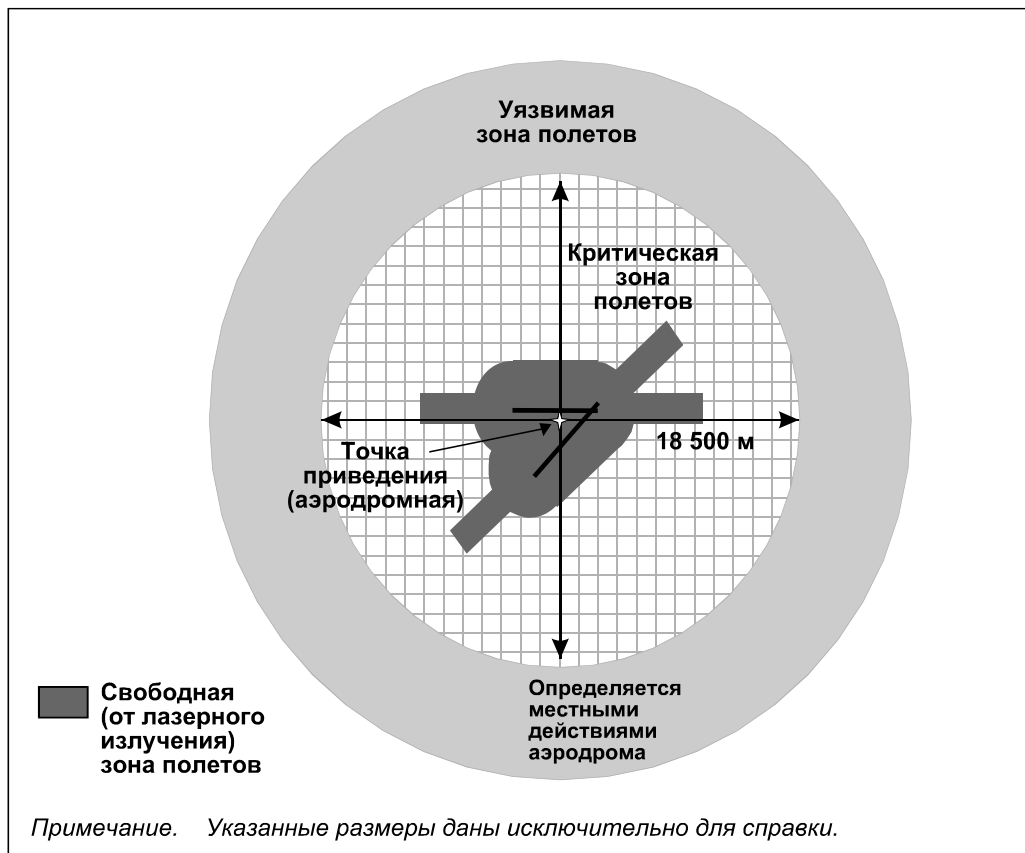


Рисунок 5-1. Разграничительные зоны полетов

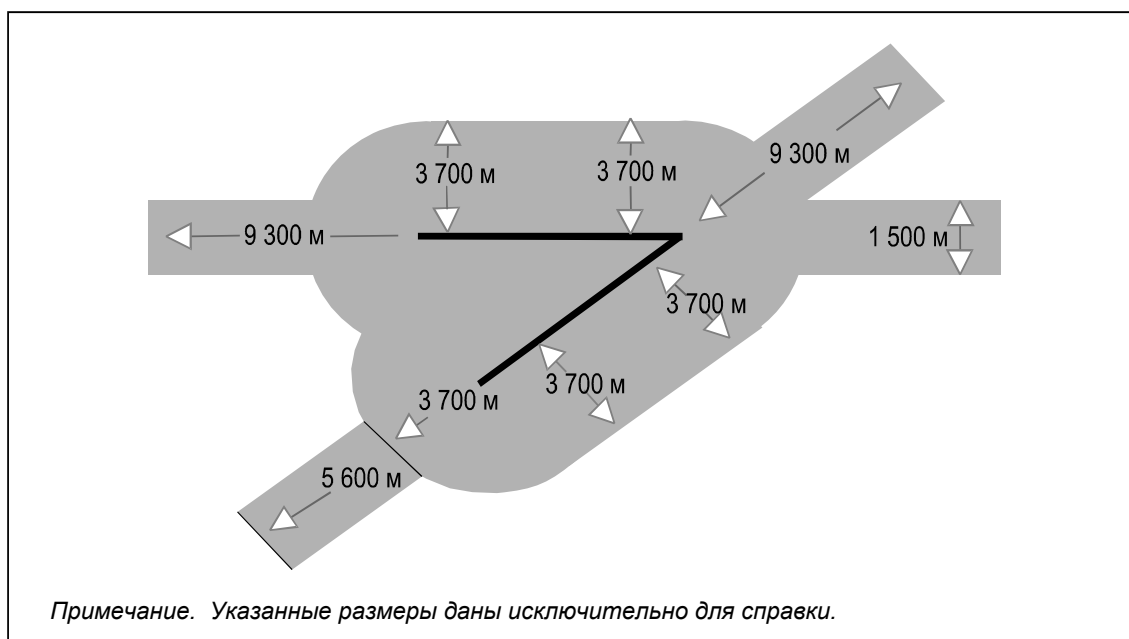


Рисунок 5-2. Свободная (от лазерного излучения) зона полетов (СЗП (LFFZ))

Обозначенные на рисунках размеры зон являются ориентировочными, но, как показывает опыт, обеспечивающими необходимый уровень безопасности полетов.

5.2.8 Размеры воздушного пространства, уязвимого для поражения лазерным излучением, изменяются в зависимости от выходной мощности лазерной системы, измеряемой в ваттах или джоулях. Ниже приведены максимальные значения мощности лазерного излучения (ММЛИ (MILs)), используемые для оценки лазерной активности в близком приближении к аэродрому.

- a) СЗП (LFFZ): ММЛИ (MIL) равна или меньше 50 нВт/см^2 ;
- b) КЗП (LCFZ): ММЛИ (MIL) равна или меньше 5 мВт/см^2 ;
- c) УЗП (LSFZ): ММЛИ (MIL) равна или меньше 100 мВт/см^2 ; и
- d) ЗНП (NFZ): ММЛИ (MIL) равна или меньше значения МДМО (MPE) для лазеров непрерывного

излучения (НИ (CW)) или для лазеров, работающих в импульсном режиме.

Примечание. Пункты a, b и c относятся только к видимому лазерному излучению.

5.2.9 Следует предусмотреть защитные средства (ослабляющие мощность излучения) для предохранения пилотов и другого персонала от облучения, когда уровень зрительной интерференции оказывается превышенным. В местах интенсивного воздушного движения желательно наличие резервных систем.

5.3 ОЦЕНКА АЭРОНАВИГАЦИОННОЙ СИТУАЦИИ

5.3.1 Описанные ниже процедуры могут быть использованы для оценки потенциального влияния лазерной активности на производство полетов. Лицо, собирающееся использовать лазерный излучатель, должно уведомить об этом компетентный орган власти заранее, чтобы было время в полном объеме произвести оценку аэронавигационной ситуации.



Рисунок 5-3. Разграничительные зоны полетов с обозначением максимальных уровней мощности видимого лазерного излучения

5.3.2 Любое договаривающееся государство может представить на рассмотрение собственный документ, который в окончательном виде будет представлять собой сводку информации в объеме, достаточном для полной оценки аэронавигационной ситуации. Пример оформления документа "Предложения по пользованию лазерными излучателями в открытом пространстве" приведен в Приложении А. Компетентный орган должен власти:

- a) Установить место работы лазерной установки, а также определить для нее значения МДМО (MPE) и НДОП (NOHD);
- b) Очертить СЗП (LFFZ), КЗП (LCFZ) и УЗП (LSFZ) для аэродромов;
- c) В случае необходимости, установить границы дополнительных УЗП (LSFZs) для защиты районов деятельности авиации, которые также могут оказываться в пределах действия излучения, таких как районы интенсивных полетов вертолетов на высотах менее 300 м (1000 фт), коридоры для полетов на малых высотах по Правилам визуальных полетов (ПВП (VFR)), воздушные пространства вокруг лазерных излучателей высокой мощности, используемых по программам астрономических обсерваторий, районы проведения активного обучения пилотов, и т. д.;
- d) Рассмотреть работу лазерных излучателей с учетом границ установленных зон. Для оценки лазерной активности вблизи аэродрома использовать значения ММЛИ (MIL), установленные компетентным органом власти;
- e) Проверить, на какие из осуществляемых полетов может повлиять рассматриваемое предложение;
- f) Координировать действия местных компетентных органов, таких как администрации аэродрома и службы управления воздушным движением, представительства военных и контролирующих организаций;
- g) Провести заседание местной лазерной рабочей группы (МЛРГ), если заявки по использованию лазерных излучателей носят сложный или противоречивый характер;
- h) Рассмотреть предложенные заявителями меры по ослаблению мощности излучения, а также дополнительные меры, предпринимаемые для предупреждения облучения экипажей воздушных судов лазерными излучателями, способными помешать им исполнять свои обязанности в полете. Такие меры включают (но ими не ограничиваются) средства физического, и процедурного характера, а также средства ручного и автоматического контроля;

- i) Произвести оценку совокупных последствий постоянной или продолжительной работы лазерных излучателей в местных условиях;
- j) Оценить способность службы УВД (АТС) в случае воздействия излучения на ее оборудование исполнять функции управления воздушным движением в реальном времени, не допуская лазерного облучения пилотских кабин воздушных судов;
- k) Определить путем согласования с заявителем вызывающие возражения эффекты и обговорить использование подходящих средств ослабления мощности излучения в целях безопасности полетов; и
- l) Довести до сведения заявителя и всех заинтересованных органов власти произведенную оценку аэронавигационной ситуации в окончательной редакции. Если предложенный вариант признается сложным или противоречивым, компетентному органу власти следует документально оформить всю относящуюся к данной проблеме информацию и распространить копии в установленном порядке.

5.4 МЕРЫ КОНТРОЛЯ

Для защиты воздушных судов в полете от лазерного облучения, мощность которого превышает соответствующее значение ММЛИ (MIL), рассматриваемое как допустимое, следует принять определенные контрольные меры физического и процедурного характера, а также использовать средства автоматического контроля.

- a) Меры контроля, предпринимаемые службой УВД (АТС):
 - 1) Извещения для пилотов (NOTAM);
 - 2) Информационные радиовещательные сообщения (например, посредством системы автоматической передачи информации в районе аэродрома (ATIS), по связи диспетчер -пилот);
 - 3) Ограничения воздушного пространства;

при этом заявитель должен представить убедительные данные о том, что средства контроля, используемые оператором лазерного излучателя, соответствуют одному или нескольким из нижеперечисленных положений:

- b) Меры контроля, предпринимаемые оператором лазерного излучателя:
 - 1) Лазерный луч может быть физически заблокирован (перекрытый луч), чтобы свет лазера не мог быть направлен в защищаемые объемы воздушного пространства.

- 2) Дивергенция лазерного луча и выходная мощность, или энергия импульса, испускаемого через апертуру системы, могут быть отрегулированы так, что мощность облучения будет соответствовать требуемому уровню.
- 3) Лучи могут иметь ограниченное направление. Направление лучей задается пеленгом по азимутальной шкале в пределах от нуля до 360 градусов и по углу наклона - от нуля до 90 градусов, где нуль соответствует горизонтали, а 90 градусов - вертикали. При этом необходимо задавать как истинный, так и магнитный пеленг луча.
- 4) Ручное управление шторкой или системой перекрытия луча следует совмещать с привлечением наблюдателей за воздушным пространством, которые должны иметь специальную подготовку и уметь видеть достаточно обширные участки неба вокруг траектории луча, чтобы перекрывать луч до освещения воздушного судна.
- 5) Сканирование лазерным лучом может снизить уровень освещенности; но с другой стороны, это может увеличить риск возможного облучения.
- 6) Могут применяться автоматические системы, предназначенные для определения места воздушного судна и изменения направления луча или перекрытия излучателя. Заявитель обязан представить подробную информацию о работе автоматической системы, ее эффективности и способе испытания ее полной работоспособности перед каждым использованием.

5.5 ПОСТАНОВЛЕНИЯ

5.5.1 Если представленные заявителем данные удовлетворяют требованиям, содержащимся в документе об оценке аэронавигационной ситуации, компетентный орган власти должен выпустить, как минимум, следующие документы:

- a) Уведомление заявителю о соответствии представленных им данных требованиям компетентного органа власти и об их утверждении с учетом оговоренных условий или ограничений (таких, как требование наблюдения за самолетами);
- b) Уведомление заявителю о запрещении каких-либо изменений оговоренного способа использования лазерного излучателя в соответствии с выданным разрешением, если эти изменения не утверждены компетентным органом власти в письменной форме;
- c) Уведомление заявителю о необходимости поставить в известность соответствующий орган власти или его полномочного представителя о каких-либо из-

менениях времени начала и окончания работы лазерных установок, а также о полном прекращении их использования за 24 часа до планируемого срока;

- d) Уведомление заявителю о том, что полученное разрешение не снижает ответственности спонсора или оператора за использование оговоренных мер по ослаблению мощности излучения, соблюдение законодательства, распоряжений или предписаний соответствующего органа власти; и
- e) Извещение для пилотов (NOTAM). (См. примеры в п. 5.5.4).

5.5.2 Если представленные заявителем данные не удовлетворяют требованиям, содержащимся в документе об оценке аэронавигационной ситуации, компетентный орган власти должен выпустить уведомление заявителю об отказе в его просьбе. В частности, в уведомлении должно быть указано, почему представленные заявителем данные не удовлетворяют требованиям безопасности полетов, а также должно содержаться предложение представить на рассмотрение новые данные и соответствующую информацию. Если переговоры по вызывающим возражения нежелательным эффектам оказались безрезультатными, отказ остается в силе.

5.5.3 В целях повышения безопасности полетов необходимо выпускать извещения для пилотов (NOTAM), предупреждающие их о лазерной активности в определенных районах. В извещениях важно подчеркивать опасный характер и возможные последствия лазерного облучения.

5.5.4 Компетентный орган власти должен предоставлять информацию для выпуска NOTAM* в форматах, несколько примеров которых приводятся ниже. Лазерная активность в течение более 180 дней должна рассматриваться как постоянная (например, ежегодные периоды постоянного использования лазерных установок). Информация, касающаяся такой активности, должна публиковаться в соответствующих авиационных изданиях.

Пример формата извещения о временной лазерной активности

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРОВ СОСТОИТСЯ В (место, город, провинция или штат), (АЭРОНАВИГАЦИОННОЕ СРЕДСТВО ОПОЗНАВАНИЯ, тип, радиал) ПО РАДИАЛУ (расст.) МОРСКИХ МИЛЬ, (широта/долгота).ТРАЕКТОРИЯ ЛУЧЕЙ (направление) РАСПОЛАГАЕТСЯ МЕЖДУ РАДИАЛАМИ (xxx-xxx), В ПЕРИОД (даты проведения), МЕЖДУ (время суток, с ___ по ___ /UTC (всемирное координированное время)).

* Более подробная информация о формате NOTAM представлена в Приложении 15 (AN 15).

ЛАЗЕРНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ МОЖЕТ ПОВРЕДИТЬ ЗРЕНИЕ ПИЛОТОВ/ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА И ПАССАЖИРОВ В ПРЕДЕЛАХ (номинальная дистанции оптического поражения) ПО ВЕРТИКАЛИ И/ИЛИ (номинальная дистанции оптического поражения) В БОКОВОМ НАПРАВЛЕНИИ ОТ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ. ЗА УКАЗАННЫМИ ПРЕДЕЛАМИ МОЖЕТ ОЖИДАТЬСЯ КРАТКОВРЕМЕННОЕ ОСЛЕПЛЕНИЕ ПИЛОТОВ ИЛИ ОБЛУЧЕНИЕ КАБИНЫ.

НАУЧНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БУДУТ ПРОВОДИТЬСЯ В (место, город, провинция или штат, широта/долгота), С ____ ПО ____ (даты) МЕЖДУ (время суток, с ____ по ____ / UTC). УГОЛ НАКЛОНА ТРАЕКТОРИИ ЛУЧА ____ (градусы) ОТ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ, РАССТОЯНИЕ ПО ВЕРТИКАЛИ (высота) НАД СРЕДНИМ УРОВНЕМ МОРЯ. ИЗБЕГАЙТЕ ВХОДА В ОПАСНУЮ ЗОНУ В ПРЕДЕЛАХ ____ МОРСКИХ МИЛЬ. УКАЗАННОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ МОЖЕТ ПОВРЕДИТЬ ЗРЕНИЕ ПИЛОТОВ/ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА И ПАССАЖИРОВ.

БОРТОВАЯ АВИАЦИОННАЯ ЛАЗЕРНАЯ УСТАНОВКА ТИПА ВОЗДУХ-ЗЕМЛЯ БУДЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ В ПЕРИОД (даты) В ПРЕДЕЛАХ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА В РАЙОНЕ (широта/долгота) С ВЫСОТЫ ____ И НИЖЕ. ИЗБЕГАЙТЕ ВХОДА В ОПАСНУЮ ЗОНУ В ПРЕДЕЛАХ ____ МОРСКИХ МИЛЬ. УКАЗАННОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ МОЖЕТ ПОВРЕДИТЬ ЗРЕНИЕ ПИЛОТОВ/ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА И ПАССАЖИРОВ.

БОРТОВАЯ АВИАЦИОННАЯ ЛАЗЕРНАЯ УСТАНОВКА БУДЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ В ПЕРИОД С ____ ПО ____ (даты), С ____ ПО ____ (время суток/UTC) В РАЙОНЕ МЕЖДУ (АЭРОНАВИГАЦИОННОЕ СРЕДСТВО ОПОЗНАВАНИЯ, тип, радиал) РАДИАЛОМ (расст.) МОРСКИХ МИЛЬ, (широта/долгота) И (АЭРОНАВИГАЦИОННОЕ СРЕДСТВО ОПОЗНАВАНИЯ, тип, радиал) РАДИАЛОМ (расст.) МОРСКИХ МИЛЬ, (широта/долгота), В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ МЕЖДУ ВЫСОТОЙ (над средним уровнем моря) И ВЫСОТОЙ (над средним уровнем моря) (ИЛИ ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗЕМЛИ). ИЗБЕГАЙТЕ ВХОДА В ОПАСНУЮ ЗОНУ В ПРЕДЕЛАХ ____ МОРСКИХ МИЛЬ. УКАЗАННОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ МОЖЕТ ПОВРЕДИТЬ ЗРЕНИЕ ПИЛОТОВ/ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА И ПАССАЖИРОВ.

**Пример формата сообщения о местоположении
перманентно используемых лазерных установок**

(место, город, провинция или штат)

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРОВ БУДУТ ПРОВОДИТЬСЯ КАЖДУЮ НОЧЬ ОТ ЗАХОДА СОЛНЦА И ДО РАССВЕТА В ПЕРИОД ДО СРОКА, О КОТОРОМ БУДЕТ ОБЪЯВЛЕНО СПЕЦИАЛЬНО, В РАЙОНЕ (место, город, провинция или штат) (АЭРОНАВИГАЦИОННОЕ СРЕДСТВО ОПОЗНАВАНИЯ, тип, ра-

диал), ПО РАДИАЛУ (расст.) МОРСКИХ МИЛЬ, (широта/долгота). ИЗМЕНЕНИЕ СЕКТОРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ (траектории лучей) БУДЕТ НОСИТЬ ПРОИЗВОЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР. ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ РАССТОЯНИЯ (номинальная дистанции оптического поражения) ПО ВЕРТИКАЛИ И (номинальная дистанции оптического поражения) В БОКОВОМ НАПРАВЛЕНИИ, ЛАЗЕРНЫЙ ЛУЧ МОЖЕТ ПОВРЕДИТЬ ЗРЕНИЕ. ЗА УКАЗАННЫМИ ПРЕДЕЛАМИ ВОЗМОЖНО КРАТКОВРЕМЕННОЕ ОСЛЕПЛЕНИЕ ПИЛОТОВ ИЛИ ОБЛУЧЕНИЕ КАБИНЫ.

**Извещение для пилотов о лазерной активности в
Харбуре, Копенгагенский район полетной
информации (выпущено Администрацией
гражданской авиации Дании).**

XXXXXX/XX NOTAMN

Q) EKDK/QWXXX/V/B/W/000/103/

A) EKDK B) 0006091900 C) 0006102200

D) ЕЖЕДНЕВНО, 1900 - 2200

E) ВРЕМ. АЭРОНАВ. ПРЕДУПР. ШОУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ СОСТОИТСЯ В ХАРБУРЕ, ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ 563713 СЕВ. ШИРОТЫ И 0081130 ВОСТ. ДОЛГОТЫ. ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ 500 ФТ ПО ВЕРТИКАЛИ И 0,5 МОРСКОЙ МИЛИ ПО ГОРИЗОНТАЛИ, ЛАЗЕРНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ МОЖЕТ ВЫЗВАТЬ ПОТЕРЮ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ. В ПРЕДЕЛАХ 8300 ФТ ПО ВЕРТИКАЛИ И 8 МОРСКИХ МИЛЬ ПО ГОРИЗОНТАЛИ ВОЗМОЖНО КРАТКОВРЕМЕННОЕ ОСЛЕПЛЕНИЕ ПИЛОТОВ/ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА И ПАССАЖИРОВ ИЛИ ОБЛУЧЕНИЕ ПИЛОТСКОЙ КАБИНЫ.

F) GND (земля)

G) 8300FT MSL (8300 фт над средним уровнем моря)
XXXXXX/XX NOTAMN

Q) EKDK/QWXXX/V/B/W/000/103/

A) EKDK B) 0006091900 C) 0006102200

D) ЕЖЕДНЕВНО, 1900 - 2200

E) ВРЕМ. АЭРОНАВ. ПРЕДУПР. БОРТОВАЯ АВИАЦИОННАЯ ЛАЗЕРНАЯ УСТАНОВКА ТИПА ВОЗДУХ-ЗЕМЛЯ БУДЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ В ПРЕДЕЛАХ 10 МОРСКИХ МИЛЬ ПО РАДИАЛУ ХАРБУРА, ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ 563713 СЕВ. ШИРОТЫ И 0081130 ВОСТ. ДОЛГОТЫ. ЛАЗЕРНЫЙ ЛУЧ БУДЕТ РАСПРОСТРАНЯТЬСЯ С ВЫСОТЫ 10000 ФТ НАД СРЕДНИМ УРОВНЕМ МОРЯ В НАПРАВЛЕНИИ ЗЕМЛИ. ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ В

ПРЕДЕЛАХ 5000 ФТ ПО ВЕРТИКАЛИ И 2,5 МОРСКИХ МИЛЬ ПО ГОРИЗОНТАЛИ, ЛАЗЕРНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ МОЖЕТ ВЫЗВАТЬ ПОТЕРЮ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ. В ПРЕДЕЛАХ 5300 ФТ ПО ВЕРТИКАЛИ И 8 МОРСКИХ МИЛЬ ПО ГОРИЗОНТАЛИ ВОЗМОЖНО КРАТКОВРЕМЕННОЕ ОСЛЕПЛЕНИЕ ПИЛОТОВ/ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖА И ПАССАЖИРОВ ИЛИ ОБЛУЧЕНИЕ ПИЛОТСКОЙ КАБИНЫ.

F) GND (земля)

G) 8300FT MSL (8300 фт над средним уровнем моря)

5.6 ТРЕБОВАНИЯ К СООБЩЕНИЯМ ОБ ИНЦИДЕНТАХ

Договаривающиеся страны могут по желанию принять собственные системы отчетности в качестве средства отслеживания несанкционированного использования лазерного излучения в воздушном пространстве. Немедленное сообщение об инциденте будет способствовать расследованию и возможному применению санкций в отношении нарушителя. Примеры форматов рапортов об инцидентах приведены в Приложении В.

Глава 6

ДОКУМЕНТАЛЬНЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ОБ ИНЦИДЕНТАХ, ПРОИЗОШЕДШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРЕДПОЛАГАЕМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

6.1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Лазерные лучи, способные отрицательно влиять на безопасность полетов, могут быть видимыми и невидимыми. Лазерные лучи, особенно при высокой интенсивности облучения, могут вызвать повреждение сетчатки. Резкий свет от видимого лазерного излучения может стать причиной ослепления, возникновения остаточных изображений и кратковременной слепоты. Результатом облучения невидимыми лазерными лучами может быть боль в глазах, потеря зрительного восприятия или ожоги кожного покрова, но обычно оно не приводит к ослеплению и кратковременной слепоте. Повреждение ткани роговицы и слизистой оболочки глаза возникает при более высоком уровне облучения по сравнению с потребным для повреждения сетчатки. Это объясняется отчасти действием механизма фокусировки, который увеличивает количество приходящей на единицу площади сетчатки энергии, попавшей на ее поверхность. Помимо ослепления, кратковременной слепоты и остаточных изображений, могут возникать другие симптомы лазерного облучения, в том числе боль в глазу, зрительная утомляемость, слезоточивость, раздражение слизистой оболочки и головная боль. Свет лазерного луча может (и такие случаи уже зафиксированы) снизить безопасность полета и ухудшить качество исполнения полетных процедур, вызвать тревогу, временную дезориентацию и потерю зрительного восприятия.

6.2 ПРОЦЕДУРЫ

Когда бы ни произошло неожиданное облучение от неизвестного источника излучения, этот инцидент необходимо рассматривать как возможный случай воздействия лазерного луча, о чем следует немедленно сообщить. Рапорты обо всех инцидентах возможного лазерного облучения нужно направлять в национальную администрацию по авиационной медицине и безопасности полетов. Как правило, лица, предположительно подвергшиеся облучению лазером, должны немедленно обратиться за помощью к оптометристу, офтальмологу или пройти обследо-

вание у специально назначенного медицинского эксперта. При устойчивой или необычной симптоматике может потребоваться направление к офтальмологу для дальнейшего медицинского наблюдения и лечения.

Примечание.— В главе 7 “Медицинское обследование при подозрении на поражение лазерным излучением” представлены материалы, которыми можно руководствоваться для оценки состояния членов экипажей воздушных судов и другого авиационного персонала, получивших поражение или оказавшихся выведенными из строя в результате вероятного лазерного облучения.

6.3 ДОКУМЕНТАЦИЯ

6.3.1 Документация, оформляемая по поводу инцидента лазерного облучения, выполняет три важные функции. Во-первых, она предоставляет данные об эффективности проводимых мероприятий и установленных процедур, направленных на защиту навигационного воздушного пространства от опасности, которая связана с лазерными лучами. Во-вторых, она используется как протокол для медицинского заключения. В-третьих, она представляет собой самую свежую информацию о новых приборах или источниках опасного лазерного излучения, способного оказывать вредное влияние на зрение.

6.3.2 Указания по оформлению документов об инцидентах, связанных с подозрением на лазерное облучение, приведены в Приложении В. При расследовании инцидентов облучения рекомендуется использовать две формы бланков: “Рапорт об инциденте, произошедшем в результате предполагаемого лазерного облучения” и “Опросный лист по предполагаемому лазерному облучению”. Рапорт должен составляться подвергшимися облучению лицами в самый кратчайший срок после инцидента. Заполнение опросного листа может проводиться официальным представителем компетентного органа власти в процессе первоначальной встречи с пострадавшими.

Глава 7

МЕДИЦИНСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПРИ ПОДОЗРЕНИИ НА ПОРАЖЕНИЕ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

7.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

7.1.1 Обо всех случаях подозреваемого лазерного облучения следует своевременно сообщать в медицинскую секцию компетентного органа власти. При этом надлежит использовать следующие две формы бланков:

- a) Рапорт об инциденте, произошедшем в результате предполагаемого лазерного облучения. Рапорт должен составляться лицами, подвергшимися облучению.
- b) Опросный лист по предполагаемому лазерному облучению. Заполнение опросного листа может проводиться официальным представителем компетентного органа власти в процессе первоначальной встречи с пострадавшими.

Примечание. – Образцы этих двух бланков приведены в Приложении В.

7.1.2 Ниже представлены материалы, которыми можно руководствоваться при медицинском обследовании лиц, подвергшихся предполагаемому лазерному облучению, для оценки их состояния.

7.2 ПРОЦЕДУРА

7.2.1 Любое лицо, предположительно подвергшееся лазерному облучению, следует направить на общее обследование к окулистам, чтобы убедиться в отсутствии перманентных симптомов поражения и нормальном состоянии зрения. Для этого необходимы консультации оптометриста, офтальмолога или специально назначенного медицинского эксперта.

Общее обследование зрения

- Исходные данные (ознакомление с опросным листом по предполагаемому лазерному облучению, если таковой заполнялся).
- Внешний осмотр.
- Наивысшая острота откорректированного зрения, отдельно по каждому глазу.
- Тест по сетке Амслера, отдельно по каждому глазу (см. Приложение С).

- Проверка бинокулярного стереоскопического зрения (указать вид текста).
- Тест на цветовосприятие по псевдоизохроматическим табличкам, отдельно по каждому глазу.
- Конфронтация полей зрения, отдельно по каждому глазу.
- Осмотр глазного дна с узким зрачком, отдельно по каждому глазу.

7.2.2 Если результаты этого обследования соответствуют норме, и у пациента нет постоянных жалоб на зрение, то от дальнейших обследований можно отказаться.

7.2.3 Если результаты базового обследования не соответствуют норме или вызывают сомнения, следует провести детальное обследование зрения для определения состояния здоровья каждого глаза.

Детальное обследование зрения

- Состояние зрачка, отдельно для каждого глаза.
- Осмотр на щелевой лампе, отдельно каждого глаза.
- Определение поля зрения, отдельно для каждого глаза.
- Подвижность глазного яблока (отведение, приведение, вращение), отдельно для каждого глаза.
- Осмотр глазного дна с расширенным зрачком, отдельно для каждого глаза.

7.2.4 Если результаты этого обследования соответствуют норме, и у пациента нет постоянных жалоб на зрение, то от дальнейших обследований можно отказаться.

7.2.5 Если результаты детального обследования не соответствуют норме, или у пациента есть постоянные жалобы на зрение, то по направлению от секции авиационной медицины компетентного органа власти пациенту следует получить дополнительную консультацию офтальмолога (преимущественно специалиста по сетчатке). Этот специалист должен провести углубленное обследование состояния здоровья глаз пациента.

Углубленное обследование зрения

- Фотографирование сетчатки.
- Всестороннее тестирование цветовосприятия (включая сине-голубые таблички).
- Электродиагностическое тестирование (при необходимости).
- Офтальмологическое лазерное сканирование (при необходимости).
- Флуоресцентная ангиография (при необходимости).

Приложение А

ЗАЯВКА НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ НА ОТКРЫТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Примечание. Приведенный ниже образец бланка заявки одобрен Федеральным авиационным управлением и воспроизводится с его разрешения.

ЗАЯВКА НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ НА ОТКРЫТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Кому (в компетентный орган)	От кого (заявитель)	Дата предоставления рапорта
-----------------------------	---------------------	-----------------------------

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Характер мероприятия или тип установки		
Заказчик	Адрес площадки	
ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ		
Широта _____ град (°) _____ мин (') _____ сек (")		Долгота _____ град (°) _____ мин (') _____ сек (")
Высота площадки (над средним уровнем моря)	Высота размещения лазерной установки (например, на крыше здания и т.п.)	Определена по: ☐ GPS ☐ карта ☐ прочее (указать)
ДАТЫ И ВРЕМЯ СУТОК ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ		
Контрольное испытание и нацеливание луча	Работа установки	

2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ

--

3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ НА ПЛОЩАДКЕ

Оператор(ы)	
Номер телефона № 1 на площадке	Номер телефона № 2 на площадке
Краткое описание средств контроля	

4. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

Количество конфигураций лазерного луча (заполнить одну копию стр. 2 бланка настоящей заявки ("Конфигурации лазерного луча")) отдельно для каждой конфигурации).
Перечислить любые дополнительные средства, необходимые для оценки работы лазерной установки (можно указать карты, схемы, и подробности используемых мер контроля)

5. ОФИЦИАЛЬНОЕ ЛИЦО ДЛЯ КОНТАКТОВ (если потребуются дополнительная информация)

Фамилия, имя, отчество	Занимаемая должность	
Телефон	Факс	E-mail
ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ТОЧНОСТИ УКАЗАННЫХ ДАННЫХ		
Насколько мне известно, информация, представленная в настоящей заявке, является точной и правильной.		
Фамилия, имя, отчество (если не ранее указанное официальное лицо для контактов)	Занимаемая должность	
Подпись	Дата	

КОНФИГУРАЦИЯ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА

Заполняется в одном экземпляре для каждой лазерной установки или каждой конфигурации лазерного луча, которые предполагается использовать на открытой площадке в процессе представления

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Характер мероприятия или тип установки	Конфигурация № _____ из _____ (общее кол-во)	Дата предоставления рапорта
Краткое описание конфигурации лазерного луча		

2. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ

(в каждую колонку вносятся данные только по одному режиму работы излучателя)

Режим работы излучателя	☐ МОНОИМПУЛЬСНЫЙ РЕЖИМ	☐ НЕПРЕРЫВНАЯ ГЕРАЦИЯ	☐ ИМПУЛЬСНЫЙ РЕЖИМ
Тип лазера <i>(активный материал)</i>			
Мощность <i>Ватты (Вт)</i>	<i>(не заполняется)</i>	Максимальная мощность	Средняя мощность
Энергия импульса <i>Джоули (Дж)</i>		<i>(не заполняется)</i>	
Продолжительность импульса <i>Секунды (с)</i>		<i>(не заполняется)</i>	
Частота повторения импульсов, Герцы (Гц)	<i>(не заполняется)</i>	<i>(не заполняется)</i>	
Диаметр луча @ 1/е единиц <i>Сантиметры (см), (не мм)</i>			
Дивергенция луча @ 1/е полный угол рассеивания <i>Миллирадианы (мрад)</i>			
Длина волны (диапазон) <i>Нанометров (нм)</i>			

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ (МДМО (МРЕ)) *(Результат будет использован при расчете номинальной дистанции оптического поражения (НДОП (NOHD))*

МДМО (МРЕ) <i>Вт/см²</i>	<i>(не заполняется)</i>		
МДМО (МРЕ) импульса <i>Дж/см²</i>		<i>(не заполняется)</i>	

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ *(Результат будет использован при расчетах величин дальности от источника облучения в уязвимой (ЭДОВ УЗП (SZED)), критической (ЭДОВ КЗП (CZED)) и свободной (ЭДОВ СЗП (LFED)) зонах полетов*

Неоткорректированная мощность излучения НМИ (PCP) <i>Ватты (Вт)</i>	Энергия импульса (Дж) * 4	Максимальная мощность (см. выше)	Средняя мощность ИЛИ энергия импульса (Дж) x ЧИП (PRF) (Гц)
Коэффициент оптической коррекции (КОК (VCF)) <i>Впишите "1,0", или используйте таблицу 5</i>			
Мощность излучения с учетом оптической коррекции <i>НМИ (PCP) x КОК (VCF)</i>			

3. ТРАЕКТОРИИ ЛУЧЕЙ

Азимут <i>(градусы)</i>	☐ Истинный ☐ Магнитный	Магнитное склонение <i>(градусы)</i>
Минимальный угол подъема луча <i>(градусы, горизонталь = 0°)</i>		Максимальный угол подъема луча <i>(градусы)</i>

4. РАССЧЕТ ДАЛЬНОСТИ НА ОСНОВании ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ДАННЫХ

(заполните все три колонки расчета ндоп (nohd). для лазеров видимого излучения заполняются все три колонки расчетов эдов узп (szed), эдов кзп (czed) и эдов сзп (lfed).

	НАКЛОННАЯ ДАЛЬНОСТЬ <i>(фм)</i>	ДАЛЬНОСТЬ ПО ГОРИЗОНТАЛИ <i>(фм)</i>	ДАЛЬНОСТЬ ПО ВЕРТИКАЛИ <i>(фм)</i>
НОМИНАЛЬНАЯ ДИСТАНЦИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ			
НДОП (NOHD) <i>(по данным расчета МДМО (МРЕ))</i>			
ДАЛЬНОСТЬ ОПТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ (ОБЛУЧЕНИЯ)			
Если диапазоны излучения не входят в оптическую область спектра (400-700 нм), впишите "ЛНИ (лазер невидимого излучения)" во все графы нижеприведенных колонок. Для лазера видимого излучения, если расчетное значение дальности оптического воздействия меньше (короче) НДОП (NOHD), нужно вписать "Меньше НДОП (NOHD)".			
ДОУЗП (SZED) <i>(интенсивность излучения 100 мВт/см²)</i>			
ДОКЗП (CZED) <i>(интенсивность излучения 5 мВт/см²)</i>			
ДОСЗП (LFED) <i>(интенсивность излучения 5 нВт/см²)</i>			

5. МЕТОД РАСЧЕТА

☐ Коммерческая программа <i>(указать наименование продукта)</i>	☐ Другое <i>(указать использованный метод расчета, т.е. таблица, калькулятор, и т.п.)</i>
--	--

ИНСТРУКЦИЯ ПО ЗАПОЛНЕНИЮ БЛАНКА ЗАЯВКИ (с.1)

Данные, представленные в настоящем бланке, будут использованы компетентным органом для анализа аэронавигационной ситуации с целью оценки безопасности полетов во время эксплуатации лазерной установки согласно заявке. Следует предоставить всю информацию, которая может потребоваться специалистам для этого анализа. Если необходимо указать дополнительные подробности, внесите их описание в раздел "Дополнительные сведения" настоящего бланка.

Кому. Укажите наименование, адрес, номера телефона и факса учреждения компетентного органа (в дальнейшем "администрация"), в сферу ответственности которого входит площадка, где будет эксплуатироваться лазерный излучатель.

От кого. Укажите наименование, номера телефона, факса и бокса электронной почты организации, выступающей в качестве заявителя. Заявитель несет главную ответственность за безопасность в процессе работы лазерного излучателя. В некоторых случаях в качестве заявителя может выступить изготовитель лазерной установки или правительственное учреждение, а лазер может быть размещен на другой площадке. В таком случае, в данную графу внесите наименование организации-заявителя, а местоположение площадки укажите в какой-либо другой графе бланка.

Дата рапорта. Укажите дату подготовки или отсылки рапорта в администрацию. Это *не* дата эксплуатации лазерной установки.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Характер мероприятия или тип установки. Опишите характер проводимого мероприятия (если это ограниченное по времени шоу) или укажите тип стационарного лазерного излучателя.

Заказчик. Если лазер эксплуатируется лицом, отличным от заявителя, укажите его, в противном случае впишите: "Лицо, выступающее заявителем".

Адрес площадки. Укажите штат или провинцию, город и улицу.

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ

Широта и долгота. Приведите точные координаты площадки, т. е. широту и долготу в градусах, минутах и секундах. На некоторых картах или в приборах значения широты и долготы указываются в целых и десятичных долях градусов, в этом случае необходимо сделать соответствующий пересчет координат.

Высота площадки. Укажите высоту площадки проведения шоу над средним уровнем моря в футах. Для этого обратитесь к топографической карте местности или к другому источнику.

Высота размещения лазерной установки. Если лазер размещен на крыше здания или на какой-либо другой высокой конструкции, укажите высоту установки над поверхностью земли в футах.

Примечание. При размещении лазеров на воздушных судах или космических летательных аппаратах, необходимо предоставить дополнительную информацию о высотах и трассах полетов.

ДАТЫ И ВРЕМЯ СУТОК ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Контрольное испытание и нацеливание луча. Укажите дату (даты) и период (периоды) времени суток планируемого проведения контрольного испытания и нацеливания луча.

Работа установки. Укажите дату (даты) и период (периоды) времени суток, когда будет производиться лазерное излучение в открытом пространстве.

2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Опишите работу установки в общих чертах. Конкретные конфигурации луча с указанием всех деталей должны быть приведены на странице 2 настоящего бланка под заголовком "Конфигурации лазерного луча". При необходимости используйте дополнительные страницы.

3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ НА ПЛОЩАДКЕ

Оператор(ы). Укажите номера и/или должности операторов лазерной установки

Номера телефонов на площадке: Должна существовать по крайней мере одна рабочая прямая линия телефонной или другой эквивалентной оперативной связи с оператором (например, телефонная связь со станцией, а оттуда - с оператором по радио). В бланке указываются два телефонных номера, один из которых может быть резервным или предусмотренным в качестве запасного варианта.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ

Опишите средство (средства) по защите воздушного пространства, например, оконечное устройство на здании (где траектория луча не может наблюдаться с борта воздушных судов, включая вертолеты), привлечение наблюдателей за воздушным пространством, использование радиолокаторов или приборов ночного видения, физических способов или средств ограничения траектории лазерного луча и т. п.). Чем больше оператор полагается на используемые средства контроля в плане обеспечения безопасности полетов, тем более подробным должно быть их описание.

4. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

Количество конфигураций лазерного луча. Укажите, какое количество конфигураций лазерного луча предусмотрено в вашей заявке. Если в конкретной лазерной установке используется более одного излучателя, генерирующих лучи с различными характеристиками (по значениям установленной мощности, режимам пульсации, дивергенции и пр.), или эта установка снабжена несколькими выходными устройствами (например, проекционными насадками), то каждое из этих выходных устройств должно рассматриваться как отдельная конфигурация лазерного луча и быть описано индивидуально, согласно форме, приведенной на стр.2 настоящего бланка.

Перечислить любые дополнительные средства. Укажите дополнительные средства, которые по вашему мнению нужно привести, такие как карты, схемы или подробности используемых мер контроля. Сюда же можно включить любые материалы, необходимые администрации для всестороннего рассмотрения вашей заявки.

5. ОФИЦИАЛЬНОЕ ЛИЦО ДЛЯ КОНТАКТОВ

Укажите лицо, с которым может связаться администрация, если потребуются дополнительные сведения. Это лицо должно обладать исчерпывающей информацией относительно безопасности во время эксплуатации лазерной установки. В то же время это лицо должно выступать в роли центрального звена связи во взаимодействии между администрацией и персоналом обслуживания лазерной установки. Официальное лицо для контактов *должно* работать на заявителя, указанного в графе "От кого" в начале данного бланка, или представлять интересы этого заявителя.

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ТОЧНОСТИ УКАЗАННЫХ ДАННЫХ

Подписать настоящий бланк должно официальное лицо для контактов. Однако, в некоторых случаях ответственность за точность приводимых данных может быть возложена на другое лицо, например, на офицера по лазерной безопасности, не выступающего в качестве официального лица для контактов. Поэтому под бланком должно поставить свою подпись лицо, уполномоченное осуществлять связь между администрацией и заявителем.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ЗАПОЛНЕНИЮ ФОРМЫ "КОНФИГУРАЦИЯ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА" (с. 2 бланка заявки)

В одном представлении с использованием лазерного излучения в открытом пространстве может быть задействовано несколько лазеров или "лазерных конфигураций" - лучей с различной установленной мощностью, разными режимами пульсации, дивергенцией и пр. В первую графу таблицы дополнительных средств на первой странице бланка заявки внесите количество различных лазерных конфигураций, которые предполагается использовать во время представления на открытом воздухе. После этого для каждой подлежащей анализу отдельной конфигурации заполните индивидуальную форму, приведенную на второй странице бланка заявки, под заголовком "Конфигурация лазерного луча".

Альтернативный анализ. Настоящая форма и сопроводительные таблицы должны охватить широкое разнообразие лазерных конфигураций. Приводимые форма и таблицы необходимым образом упрощены и предусматривают традиционные допущения. Некоторые лазерные конфигурации могут требовать более сложного анализа. Любые из этих альтернативных анализов должны быть основаны на установленных методах расчета. *Как используемый способ анализа, так и сами расчеты необходимо оформить документально.* (Для более подробной информации см. Док. 9815 ИКАО).

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Краткое описание конфигурации лазерного луча. Опишите систему проецирования и управления траекторией луча. Укажите детали расположения площадки. Если требуется большее пространство, приведите дополнительную информацию.

2. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ И РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ

В этом разделе приводятся данные о характеристиках лазерного излучения, полученные путем непосредственного измерения, указанные изготовителем в спецификации или измеренные с помощью специальных приборов. Данные могут быть выведены путем обоснованных традиционных допущений (например, что при определенном значении какой-то физической величины луч может оказаться более опасным, чем это было бы на самом деле). Допустимые ошибки величин всех приводимых данных должны учитываться с точки зрения повышения безопасности. *В приграничных ситуациях, когда точность играет критическую роль для признания соответствия характеристики требуемому значению, следует предоставить дополнительные данные по используемому методу измерения, источникам информации и сделанным допущениям.*

Режим работы излучателя. Определите режим работы установки при данной конфигурации луча: моноимпульсный режим, непрерывная генерация или импульсный режим. Отметьте галочкой соответствующую колонку. Данные по остальным графам раздела "Характеристики луча" и графам разделов расчетов вносите *только* в эту колонку.

- **Моноимпульсный режим:** лазеры, генерирующие одноразовый импульс энергии длительностью $< 0,25$ с, или с частотой повторения импульсов < 1 Гц.
- **Непрерывная генерация:** лазер, генерирующий непрерывное (не импульсное) излучение в течение периода времени $\geq 0,25$ с.
- **Импульсный режим:** лазеры, генерирующие повторяющиеся импульсы энергии с частотой 1 Гц, или большей.

Примечание относительно лазеров, импульсный режим излучения которых обеспечивается сканированием луча. "Импульсный режим" относится к лазерам, которые естественным образом испускают повторяющиеся импульсы, таким как оптический квантовый генератор с модуляцией добротности. Настоящая форма и таблицы не предусматривают анализ импульсов, возникающих вследствие сканирования луча перед наблюдателем или воздушным судном (например: графические или орнаментные изображения на лазерных дисплеях; сканируемые изображения, используемые в целях LIDAR.). Импульсы, возникающие в результате сканирования, часто оказываются чрезвычайно разнообразными по ширине и длительности. Поэтому, для традиционного анализа луч рассматривается как статический (не сканируемый). *В случае, если для соответствия требуемым нормам необходимо учесть сканирование луча, следует: 1) произвести более углубленный анализ, документируя используемые методы измерения и расчетов, и 2) документально оформить и использовать устройства для защиты от излучения на случай отказа системы сканирования.*

Тип лазера. Укажите активный материал, например, "Аргон", "ИАГН (Nd:YAG)", "Парообразная медь", "CO₂", и т. д.

Мощность. Для лазера непрерывного излучения (колонка 2) укажите значение мощности в ваттах. Для лазера, работающего в импульсном режиме (колонка 3), приведите среднее значение мощности в ваттах {энергия импульса (Дж), умноженная на частоту повторения импульсов (Гц)}. В обоих случаях указывается максимальное значение энергии, которое может быть достигнуто при проникновении луча в воздушное пространство.

В целях упрощения и безопасности можно указать самую высокую величину, т.е. максимальную мощность лазера, не принимая во внимание какие-либо дополнительные потери в оптических компонентах на траектории луча до его вхождения в воздушное пространство.

Энергия и продолжительность импульса. Для случаев моноимпульсного (колонка 1) и импульсного режимов излучения (колонка 3) внесите значение энергии импульса в Джоулях значение длительности импульса в секундах. Указывается максимальное значение мощности излучения, проникающего в воздушное пространство. В целях упрощения и безопасности можно указать самую высокую величину, т.е. максимальную энергию импульса лазера, не принимая во внимание какие-либо дополнительные потери в оптических компонентах на траектории луча до его вхождения в воздушное пространство.

Диаметр луча. Укажите диаметр луча, определяемый по точкам максимальной энергетической освещенности в единицах, кратных значению $1/e$.

Примечание. Диаметр луча часто измеряется в миллиметрах. Однако, при заполнении данной формы следует указать величину диаметра луча, выраженную в сантиметрах.

Дивергенция луча. Дивергенция луча – это полный угол, выраженный в единицах $1/e$. Если вам известно только значение диаметра или дивергенции луча, выраженное в единицах $1/e^2$, умножьте его на коэффициент 0,707, чтобы получить соответствующую величину в единицах $1/e$.

Примечание. Измерить диаметр и дивергенцию луча бывает довольно сложно. В целях безопасности можно для простоты использовать определенные допущения. Самое безопасное - это принять дивергенцию меньшей ее истинного значения.

Например, при прохождении луча из лазера в проекционное устройство, используемое в шоу, дивергенция обычно увеличивается. Для консервативной (более безопасной) оценки, следует учитывать наименьшую дивергенцию луча при выходе из лазера, прежде, чем луч пройдет через проектор. При этом подразумевается, что луч остается более плотным (а значит, более опасным), чем в действительности.

Длина волны (диапазон). Укажите диапазон длин волн лазерного излучения, проникающего в воздушное пространство.

Если лазер генерирует излучение с различными длинами волн, то каждая длина волны должна анализироваться индивидуально для определения соответствующих ей величин максимально допустимой мощности облучения (МДМО (MPE)) и номинальной дистанции оптического поражения (НДОП (NOHD)). Кроме того, для лазеров, излучающих в видимой области спектра, каждая длина волны должна анализироваться отдельно еще и для определения соответствующих ей значений эффективной дальности оптического воздействия (ЭДОВ (VED)) в уязвимой (ЭДОВ УЗП (SZED)), критической (ЭДОВ КЗП (CZED)) и свободной (ЭДОВ СЗП (LFED)) зонах полетов. Более подробно этот процесс описан в приведенной ниже "Инструкции по определению дальности оптического воздействия".

Для любого случая использования лазера с различными длинами волн излучения, следует документально оформить применяемые методы измерения и расчета. Если вы не проводите полный анализ каждой длины волны, необходимо четко обозначить принятые для простоты консервативные допущения.

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ МОЩНОСТИ ОБЛУЧЕНИЯ

(МДМО (MPE)) и МДМО (MPE) импульса. Впишите в соответствующую графу колонки результат расчета максимально допустимой мощности облучения (МДМО (MPE)). Эта величина будет использована в дальнейшем для расчета номинальной дистанции оптического поражения (НДОП (NOHD)).

Наиболее простой путь определения МДМО (MPE) – это использование таблиц 1 – 4 в соответствии с приведенным ниже описанием, представляющим простой и общепринятый метод. Если требуется проведение более точных расчетов, воспользуйтесь серией стандартов ANSI Z136 Американского национального института стандартов или примените какой-либо другой из установленных методов измерений. Используемый метод и расчеты должны быть документально оформлены.

• **Моноимпульсный режим (колонка 1).** Определите значение МДМО (МРЕ) по таблице 1. Внесите значение МДМО (МРЕ) импульса в соответствующую графу колонки "Моноимпульсный режим"

• **Непрерывная генерация (колонка 2).** Определите значение МДМО (МРЕ) по таблице 2. Внесите значение МДМО (МРЕ) в соответствующую графу колонки "Непрерывная генерация"

• **Импульсный режим (колонка 3).** Лазеры, генерирующие чередующиеся последовательности импульсов энергии, могут представлять дополнительную опасность по сравнению с лазерами, работающими в моноимпульсном режиме или режиме непрерывной генерации. Значения МДМО (МРЕ) приводятся для лазеров с импульсным режимом излучения и рассчитаны исходя из используемой частоты повторения импульсов. Эти приведенные значения МДМО (МРЕ) обозначаются как МДМО_{чпи} (МРЕ_{прф}). Величину МДМО_{чпи} (МРЕ_{прф}) можно определить либо по значению энергии импульса, либо по значению средней мощности излучения. В настоящем документе представлен упрощенный метод расчета МДМО_{чпи} (МРЕ_{прф}) по значению средней мощности излучения для длин волн в оптической и инфракрасной областях спектра. (В серии стандартов ANSI Z136 можно найти более точные значения этого параметра для некоторых конкретных длин волн). Несмотря на то, что определяемая величина представляет собой МДМО_{чпи} (МРЕ_{прф}), ее значение необходимо внести либо в графу "МДМО (МРЕ)", либо в графу "МДМО (МРЕ) импульса" колонки "Импульсный режим". Ниже приводится упрощенный метод расчета МДМО_{чпи} (МРЕ_{прф}) для различных длин волн:

1. Ультрафиолетовая область спектра. Обратитесь к серии стандартов ANSI Z136 Американского национального института стандартов.
2. Оптический диапазон. Определите значение МДМО_{чпи} (МРЕ_{прф}) по таблице 3. Данные, приведенные в таблице 3, уже использовались для определения коэффициента коррекции зрения при расчете величины МДМО (МРЕ) лазера непрерывного излучения. Внесите найденное значение в графу "МДМО (МРЕ)" колонки "Импульсный режим".
3. Инфракрасная область спектра:
 - a) По таблице 2 определите величину МДМО (МРЕ) для непрерывной генерации.
 - b) По таблице 4 определите поправочный коэффициент для частоты повторения импульсов в инфракрасной области спектра.
 - c) Умножьте величину МДМО (МРЕ) для непрерывной генерации на поправочный коэффициент для частоты повторения импульсов в инфракрасной области спектра, чтобы получить искомое значение МДМО_{чпи} (МРЕ_{прф}). Внесите это значение в графу "МДМО (МРЕ)" колонки "Импульсный режим".

Примечание относительно лазеров, работающих в импульсном режиме излучения: В упрощенных методах расчетов по таблицам 2 – 4 используется среднее значение мощности для определения МДМО (МРЕ) в Вт/см². При применении других методов можно пользоваться значениями энергии импульса и определять МДМО (МРЕ) импульса в Дж/см². В бланк требуется внести только одну, любую из этих двух величин.

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ (только для лазеров видимого излучения)

Если лазер не генерирует излучение в оптическом диапазоне длин волн (400–700 нм), в соответствующих графах сделайте запись "ЛНИ – лазер невидимого излучения" и переходите к следующему разделу бланка, озаглавленному "Траектории лучей".

В отношении лазеров видимого излучения предметом озабоченности администрации являются лучи, хотя и безопасные для зрения (слабее соответствующих значениям МДМО (МРЕ)), но достаточно яркие, чтобы оказать раздражающее воздействие на глаза экипажей воздушных судов. Согласно рекомендациям ИКАО (см. Приложение 14, том I "Проектирование и эксплуатация аэродромов", 5.3.1.2) администрация установила уязвимые, критические и свободные зоны полетов, в которых воздушные суда не должны подвергаться световому облучению мощностью, превышающей, соответственно 100 мВт/см², 5 мВт/см² и 50 нВт/см². Поскольку яркость видимого света изменяется с длиной волны - зеленый более заметен, чем красный или синий - можно при желании вводить коэффициент коррекции зрения. Это позволяет допустить для красных и синих лучей большую мощность, чем для зеленых. Для любого лазера видимого излучения необходимо представить расчет мощности оптического воздействия.

Неоткорректированная мощность излучения. НМИ (PCP) - значение мощности излучения без учета коэффициента коррекции зрения. Способ определения значения НМИ (PCP) зависит от типа используемого лазера:

- **Моноимпульсный режим (колонка 1).** Умножьте значение энергии импульса (в джоулях) на 4 и полученную величину занесите в бланк. **Примечание.** Таким образом усредняется значение энергии импульса до максимальной величины, соответствующей импульсу с максимальной продолжительностью 0,25 с, как это принято при консервативной аппроксимации оптического эффекта импульса излучения. *Если вы используете более точные расчеты, примененный метод и вычисления необходимо оформить документально.*
- **Непрерывная генерация (колонка 2).** Неоткорректированная мощность равна максимальной мощности лазера. Внесите в бланк ту же самую величину, которую ранее записали в графу "Мощность излучения, Вт".
- **Импульсный режим (колонка 3):**

А) Если вы заполнили графу "Мощность излучения, Вт", внесите в бланк ту же величину.

В) Если вы заполнили графу "Энергия импульса, Дж", умножьте эту величину на значение частоты повторения импульсов (Гц) для определения средней мощности излучения.

Коэффициент оптической коррекции и оптически скорректированная мощность излучения. КОК (VCF) вводится для учета яркости видимого луча, которая изменяется как функция длины волны излучения. Если определено значение КОК (VCF), можно вычислить величину ОСМИ (VCP). В зависимости от предпочитаемой точности, можно выбрать один из следующих методов расчета:

- 1) **Самый простой, наиболее консервативный анализ луча с одной или несколькими длинами волн.** Примите для расчета, что коэффициент оптической коррекции не учитывается - лазер генерирует лучи с максимальной яркостью (т. е. КОК (VCF) равен 1,0). В графу "Коэффициент оптической коррекции" бланка впишите "1,0 (принято)". В графу "Оптически скорректированная мощность" внесите то же значение, которое вы вписали в графу "Неоткорректированная мощность излучения".
- 2) **Для луча с одной длиной волны.** По таблице 5 определите величину коэффициента оптической коррекции. Чтобы найти значение оптически скорректированной мощности излучения, перемножьте величины коэффициента оптической коррекции и неоткорректированной мощности излучения. (Пример расчета дан в сноске 1 к таблице 5).
- 3) **Для луча с несколькими длинами волн,** выберите любой из следующих методов:
 - А) Примите для простоты подсчета консервативное допущение. Пользуясь таблицей 5, определите, какой длине волны соответствует максимальное значение коэффициента оптической коррекции (т. е. какая из волн оптически наиболее заметна). Внесите найденное таким образом значение в графу бланка "Коэффициент оптической коррекции". Чтобы найти значение оптически скорректированной мощности излучения, помножьте эту величину коэффициента оптической коррекции на значение неоткорректированной мощности лазера (для всех длин волн излучения).

Примечание. Необходимо приложить используемые данные и вычисления, показывающие, как получено приведенное в бланке значение оптически скорректированной мощности лазера.

- В) Проанализируйте каждую длину волны индивидуально, затем просуммируйте результаты анализа. Сначала определите значение неоткорректированной мощности для каждой из используемых длин волн. Затем, пользуясь таблицей 5, найдите соответствующие этим волнам величины коэффициента оптической коррекции излучения. Умножьте значения неоткорректированной мощности для каждой из используемых длин волн на соответствующие им величины коэффициента оптической коррекции и определите таким образом искомые значения оптически скорректированной мощности излучения ОСМИ (VCP). Сложите все эти значения и определите суммарную величину ОСМИ (VCP). Внесите результат в графу бланка "Оптически скорректированная мощность". (Пример расчета дан в сноске 2 к таблице 5).

Примечание. Необходимо приложить используемые данные и вычисления, показывающие, как получено приведенное в бланке значение оптически скорректированной мощности лазера.

3. ТРАЕКТОРИИ ЛУЧЕЙ

Опишите направления проецируемых лазерных лучей для данной конфигурации.

Азимут. Если при работе лазерной установки луч движется в горизонтальной плоскости, внесите в графу бланка с рубрикой "Азимут" угол перемещения луча, например, "20°- 50°". Обратите внимание, что угол нужно указать в направлении перемещения часовой стрелки; в противном случае информация может быть интерпретирована так, что траектория луча проходит где угодно, только не там, где Вы хотели ее обозначить. Укажите, по какому азимуту (истинному или магнитному) проводится отсчет.

Магнитное склонение. Укажите величину магнитного склонения для данной местности, если оно известно (это *необходимо*, если Вы отметили вариант "Магнитный", или если в качестве одного из средств контроля используется компас).

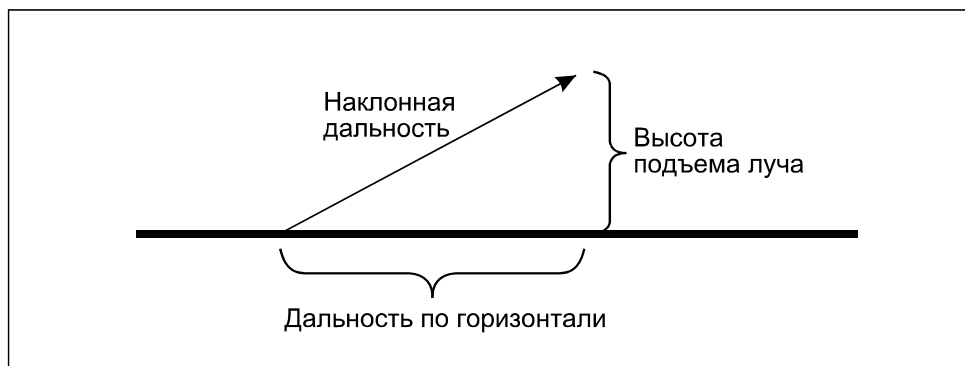
Для некоторых конфигураций могут потребоваться дополнительные данные относительно траектории луча, например, для лазеров, широко используемых на территории, обозначенной в графе "Географическое местоположение" на первой странице бланка, или для лазера, установленного на космическом летательном аппарате, движущемся и/или направляющем луч к земле. Если эти данные будут полезными для администрации при рассмотрении заявки, приложите их к заполняемой форме.

4. РАССЧЕТ ДАЛЬНОСТИ НА ОСНОВАНИИ ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ДАННЫХ

Рассматриваются четыре значения дальности, имеющие важное значение для оценки работы лазерной установки в аспекте безопасности полетов. Их краткие определения приведены ниже:

- **Номинальная дистанция оптического поражения (НДОП (NOHD)).** Луч опасен для зрения (значение МДМО (MPE) превышено) в пределах этого расстояния от источника излучения.
- **Дальность облучения в уязвимой зоне полетов (ДОУЗП (SZED)).** На этом расстоянии от источника луч достаточно ярок, чтобы вызвать временное поражение зрения. За пределами этого расстояния мощность излучения не превышает 100 мВт/см^2 .
- **Дальность облучения в критической зоне полетов (ДОКЗП (CZED)).** На этом расстоянии от источника луч достаточно ярок, чтобы вызвать нарушение зрения, мешающее выполнению требуемых действий критического характера. За пределами этого расстояния мощность излучения не превышает 5 мВт/см^2 .
- **Дальность облучения в свободной зоне полетов (ДОСЗП (LFED)).** За пределами этого расстояния мощность излучения не превышает 50 нВт/см^2 , т.е. луч ослаблен настолько, что нельзя ожидать какого-либо отрицательного оптического воздействия.

Для каждого из этих значений дальности облучения важно знать соответствующее расстояние непосредственно вдоль луча (наклонная дальность), длину проекции луча на поверхность земли (дальность по горизонтали) и превышение луча над землей (т.е. высота). На приведенной ниже схеме обозначены эти расстояния.



НОМИНАЛЬНАЯ ДИСТАНЦИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ

НДОП (NOHD) по наклонной дальности. Если подсчитаны значения энергии импульса и МДМО_{чпи} (MPE_{prf}), воспользуйтесь нижеприведенной формулой 6.1 для моноимпульсного или импульсного режимов. Формула 6.2 предназначена для случаев непрерывной генерации или импульсного режима, когда подсчитывались значения средней мощности излучения и МДМО (MPE).

Формула 6.1 $SR_{NOHD} = \sqrt{\frac{1366 \times Q}{\phi^2 \times MPE_H}}$,

где НД_{НДОП} (SR_{NOHD}) = НДОП (NOHD) по наклонной дальности (фт);
Q – энергия импульса (Дж);
φ – дивергенция луча (миллирадиан);
МДМО_H (MPE_H) = МДМО (MPE) импульса (Дж/см²);
1366 – коэффициент перевода сантиметров в футы и радианов в миллирадианы.

Формула 6.2 $SR_{NOHD} = \sqrt{\frac{1366 \times \Phi}{\phi^2 \times MPE_E}}$,

где НДНДОП (SRNOHD) = НДОП (NOHD) по наклонной дальности (фт);
φ – дивергенция луча (миллирадиан);
Φ – мощность излучения (Вт);
МДМОЕ (MPEE) = МДМО (MPE) (Вт/см²);
1366 – коэффициент перевода сантиметров в футы и радианов в миллирадианы.

Пример расчета. Лазер непрерывного излучения мощностью 40 Вт с дивергенцией луча 1,5 миллирадиан.

Дано:

φ – 1,5 миллирадиан;
Φ – 40 Вт;
МДМОЕ (MPEE) = 0,00254 (2,54 мВт/см², из таблицы 2).

Вычисляем, используя формулу 6.2:

$$SR_{NOHD} = \sqrt{\frac{1366 \times 40}{1.5^2 \times 0.00254}} = \sqrt{\frac{54640}{0.005715}} = \sqrt{9560804} = 3092 \text{ фт.}$$

НДОП (NOHD) по горизонтали - это дальность по поверхности земли. Заметьте, что при подсчете горизонтального расстояния используется *минимальное* значение угла превышения. Вычислите дальность по горизонтали, как указано в следующем выражении:

$$\text{ГД (HD)} = \text{НД}_{\text{НДОП}} (SR_{NOHD}) \times \cos (\text{минимальный угол превышения}),$$

где ГД (HD) – дальность по горизонтали (по поверхности земли). Измеряется в тех же единицах, что и наклонная дальность. Если НД (SR) подсчитана в футах, то и значение ГД (HD) нужно выразить в футах.
НДНДОП (SRNOHD) = НДОП (NOHD) по наклонной дальности;
минимальный угол превышения – величина, взятая из графы бланка "Минимальный угол подъема луча".

Пример расчета. НДОП (NOHD) по наклонной дальности составляет 1000 фт, угол наклона луча над горизонталью равен 30°. Дальность по горизонтали (по поверхности земли) равна 1000 x cos 30°, т. е. 866 фт.

НДОП (NOHD) по вертикали – это превышение луча над землей (высота подъема). Заметьте, что при подсчете вертикального расстояния используется *максимальное* значение угла превышения. Вычислите высоту подъема луча, как указано в следующем выражении:

$ВЛ (VD) = НД_{НДОП} (SR_{NOHD}) \times \sin (\text{максимальный угол превышения}),$

где ВЛ (VD) – высота подъема луча (превышение над землей). Измеряется в тех же единицах, сто и наклонная дальность. Если НД (SR) подсчитана в футах, то и значение ВЛ (VD) нужно выразить в футах.

$НД_{НДОП} (SR_{NOHD}) = НДОП (NOHD)$ по наклонной дальности;

максимальный угол превышения – величина, взятая из графы бланка "Максимальный угол подъема луча".

Пример расчета. НДОП (NOHD) по наклонной дальности составляет 1000 фт, угол наклона луча над горизонталью равен 30°. Высота подъема луча равна $1000 \times \sin 30^\circ$, т. е. 500 фт.

ДАЛЬНОСТЬ ОПТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Этот раздел бланка заполняется только в случае, если одна или несколько из используемых длин волн излучения находятся в оптической области спектра (в диапазоне 400 - 700 нм).

- Если лазер генерирует излучение вне пределов оптического диапазона, в графах "ДОУЗП (SZED)", "ДОКЗП (CZED)" и "ДОСЗП (LFED)" бланка сделайте запись "ЛНИ - лазер невидимого излучения".
- Если лазер генерирует видимое излучение, выполните подсчеты значений ДОУЗП (SZED), ДОКЗП (CZED) и ДОСЗП (LFED), как указано ниже.

Внимание! Дальности облучения ДОУЗП (SZED), ДОКЗП (CZED) и ДОСЗП (LFED) для некоторых видов лазеров видимого излучения, работающих в импульсном режиме, по результатам подсчетов могут оказаться меньшими (более короткими), чем НДОП (NOHD). В этом случае, из соображений безопасности, *не вносите* полученное значение в соответствующую графу колонки. Вместо этого *вы должны* записать "Меньше НДОП (NOHD)", потому что при этих обстоятельствах величина НДОП (NOHD) (номинальная дистанция оптического поражения) приобретет основное значение для расчета безопасных расстояний, и требование защиты воздушного пространства от лазерного излучения будет выполнено.

ДОУЗП (SZED) вдоль наклонной траектории луча. Используйте следующую формулу для расчета:

Формула 6.3 $SR_{SZED} = \frac{3700}{\varphi} \times \sqrt{\Phi_{VCP}}$,

где SR_{SZED} – ДОУЗП (SZED) вдоль наклонной траектории луча;

φ – дивергенция луча (миллирадиан);

$\Phi_{OCM} (VCP)$ – оптически скорректированная мощность излучения (из бланка);

3700 – коэффициент перевода сантиметров в футы и радианов в миллирадианы.

ДОУЗП (SZED) по горизонтали. Используйте нижеприведенную формулу. За более подробной информацией обратитесь к расчету НДОП (NOHD) по горизонтали, изложенному выше.

$ГД (HD) = НД_{ДОУЗП} (SR_{(SZED)}) \times \cos (\text{минимальный угол превышения}).$

ДОУЗП (SZED) по вертикали. Используйте нижеприведенную формулу. За более подробной информацией обратитесь к расчету НДОП (NOHD) по вертикали, изложенному выше.

$ВД (VD) = НД_{ДОУЗП} (SR_{(SZED)}) \times \sin (\text{максимальный угол превышения}).$

ДОКЗП (CZED) вдоль наклонной траектории луча, по горизонтали и по вертикали. Умножьте вычисленные выше значения ДОУЗП (SZED) на 4,5. Пример: Если ДОУЗП (SZED) вдоль наклонной траектории луча была равна 5000 фт, ГД (HD) равнялась 866 фт и ВД (VD) составляла 500 фт, то ДОКЗП (CZED) вдоль наклонной траектории луча будет равна 22500 фт, по горизонтали - 3897 фт и по вертикали - 2250 фт.

ДОСЗП (LFED) вдоль наклонной траектории луча, по горизонтали и по вертикали. Умножьте вычисленные выше значения ДОУЗП (SZED) на 45.

5. МЕТОД РАСЧЕТА

Если производились вычисления, укажите в бланке примененный метод расчета.

Формулы расчетов. Приведенные выше расчетные формулы и выражения заимствованы из стандарта ANSI Z136.1 и преобразованы в упрощенный вид посредством следующих приемов: Дивергенция луча (ϕ) выражена в миллирадианах, что обратило первое дробное значение $1/\phi$, принятое в стандарте ANSI, в величину $1000/\phi$. Вместо дробной степени 0,5 использован радикал (квадратный корень). В подкоренном выражении число $4/\pi$ сведено к значению 1,27, а диаметр луча (a^2) не учтен, поскольку эта величина для подсчета общей дальности вдоль наклонной траектории луча пренебрежимо мала. Результаты расчетов в соответствии со стандартом ANSI выражены в сантиметрах. С целью перевода этих значений в футы введен коэффициент 0,0328 ($1 \text{ см} = 0,0328 \text{ фт}$). Таким образом, в формулах используются две числовых константы: 1000 (в дроби с миллирадианами) и 0,0328, которые путем перемножения образуют единую константу 32,8 для получения результатов расчетов в футах. Чтобы выразить эти результаты в сантиметрах или в метрах, нужно ввести, соответственно, коэффициенты 1000 или 10.

Примечание. Допущение о том, что для получения значений ДОКЗП (CZED) и ДОСЗП (LFED) по заранее вычисленной величине ДОУЗП (SZED) можно использовать переводные константы, верно только в случае, если не учитывается ослабление мощности луча в атмосфере. Чтобы можно было рассчитывать на атмосферные потери как на фактор повышения безопасности, нужно провести более скрупулезный анализ, при котором каждое из этих трех значений дальности оптического воздействия вычислялись бы независимо друг от друга.

Таблица 1. Предельные значения максимально допустимой мощности (МДМО (МРЕ)) для лазеров, работающих в моноимпульсном режиме излучения

Длина волны (нм)	Продолжительность облучения (с)	МДМО (МРЕ) (Дж/см ²)
Ультрафиолетовая область спектра		
180 - 400	10 ⁻⁹ - 10	См. стандарты серии ANSI Z136 Американского национального института стандартов
Оптическая область спектра		
400 - 700	<10 ⁻⁹ 10 ⁻⁹ - 18 x 10 ⁻⁶ 18 x 10 ⁻⁶ - 10 0,25	См. стандарты серии ANSI Z136 0,5 x 10 ⁻⁶ 1,8 x t ^{0,75} x 10 ⁻³ 0,64 x 10 ⁻³
Инфракрасная область спектра		
700 - 1 050	<10 ⁻⁹ 10 ⁻⁹ - 18 x 10 ⁻⁶ 18 x 10 ⁻⁶ - 10 0,25 10	См. стандарты серии ANSI Z136 0,5 x C _A x 10 ⁻⁶ 1,8 x C _A x t ^{0,75} x 10 ⁻³ 0,64 x C _A x 10 ⁻³ 10 x C _A x 10 ⁻³
1 050 - 1 400	<10 ⁻⁹ 10 ⁻⁹ - 50 x 10 ⁻⁶ 50 x 10 ⁻⁶ - 10 10	См. стандарты серии ANSI Z136 5,0 x C _C x 10 ⁻⁶ 9 x C _C x t ^{0,75} x 10 ⁻³ 50 x C _C x 10 ⁻³
1 400 - 1 500	<10 ⁻⁹ 10 ⁻⁹ x 10 ⁻³ 10 ⁻³ - 10 10	См. стандарты серии ANSI Z136 0,1 0,56 x t ^{0,25} 1,0
1 500 - 1 800	<10 ⁻⁹ 10 ⁻⁹ - 10 10	См. стандарты серии ANSI Z136 1,0 1,0
1 800 - 2 600	<10 ⁻⁹ 10 ⁻⁹ - 10 ⁻³ 10 ⁻³ - 10 10	См. стандарты серии ANSI Z136 0,1 0,56 x t ^{0,25} 1,0
2 600 - 10 000	<10 ⁻⁹ 10 ⁻⁹ - 10 ⁻⁷ 10 ⁻⁷ - 10 10	См. стандарты серии ANSI Z136 10 x 10 ⁻³ 0,56 x t ^{0,25} 1,0

Значения коэффициента C_A:

Для длин волн от 700 до 1050 нм, C_A = 10^{0,002 (длина волны - 700)}

Пример 1. Длина волны излучения равна 850 нм; C_A = 10^{0,002 (850 - 700)} = 10^{0,002*150} = 10^{0,3} = 1,995.

Пример 2. Длина волны излучения равна 933 нм; C_A = 10^{0,002 (933 - 700)} = 10^{0,002*233} = 10^{0,466} = 2,924.

Значения коэффициента C_C:

для длин волн от 1050 до 1150 нм, C_C = 1,0;

для длин волн от 1150 до 1200 нм, C_C = 10^{0,018 (длина волны - 1150)};

для длин волн от 1200 до 1400 нм, C_C = 8,0.

Пример 3. Длина волны излучения равна 1175 нм; C_C = 10^{0,018 (1175 - 1150)} = 10^{0,018*25} = 10^{0,45} = 2,8.

Значения коэффициента t. Коэффициент "t" равен продолжительности импульса в секундах.

Таблица 2. Предельные значения максимально допустимой мощности (МДМО (МРЕ)) для лазеров непрерывного излучения

В таблице приведены данные для ограниченного диапазона длин волн при непреднамеренном наблюдении луча

Длина волны (нм)	МДМО (МРЕ) (Вт/см ²)
Ультрафиолетовая область спектра	
180 - 400	См. стандарты серии ANSI Z136 Американского национального института стандартов
Оптическая область спектра	
400 - 700	$2,54 \times 10^{-3}$
Инфракрасная область спектра	
700 - 1 050	$(10^{0,002 \text{ (длина волны - 700)}})(1,01 \times 10^{-3})$
1 050 - 1 150	5×10^{-3}
1 150 - 1 200	$(10^{0,018 \text{ (длина волны - 1 150)}})(5 \times 10^{-3})$
1 200 - 1 400	$4,0 \times 10^{-2}$
1 400 - 10 000	0,1

Пример 1. Лазер генерирует излучение в оптическом диапазоне; МДМО (МРЕ) = 0,00254 (Вт/см²).

Пример 2. Лазер генерирует излучение с длиной волны 850 нм; МДМО (МРЕ) = $(10^{0,002 (850 - 700)})(1,01 \times 10^{-3}) = (10^{0,002 \cdot 150})(0,00101) = (10^{0,3}) \times 0,00101 = 1,995 \times 0,00101 = 0,002 \text{ Вт/см}^2$.

Пример 3. Лазер генерирует излучение с длиной волны 1175 нм; МДМО (МРЕ) = $(10^{-0,018(1175-1150)})(5 \times 10^{-3}) = (10^{0,018 \cdot 25})(0,005) = (10^{0,45}) \times 0,005 = 2,818 \times 0,005 = 0,01409 \text{ Вт/см}^2$.

"Непреднамеренное наблюдение луча". При непреднамеренном наблюдении луча лазера непрерывной генерации продолжительность облучения принимается равной 0,25 с, или менее, – для оптического диапазона излучения, и 10 с, или менее, – для инфракрасной полосы спектра. (Для видимого света допускается, что в течение 0,25 с человек моргнет или отвернется от света. Для случая инфракрасного излучения допускается, что луч не остается направленным в одну точку дольше, чем 10 с вследствие естественных движений человеческого тела).

Таблица 3. Предельные значения максимально допустимой мощности в зависимости от частоты повторения импульсов (МДМО_{чпп} (MPE_{PRF})) для лазеров, излучающих в оптической области спектра

В таблице приведены данные для лазеров видимого излучения (400 - 700 нм), работающих в импульсном режиме, с длительностью импульса от 1 нс до 18 мс, при непреднамеренном наблюдении луча.

Частота повторения импульсов (Гц)	МДМО _{чпп} (MPE _{PRF}) Вт/см ²	Частота повторения импульсов (Гц)	МДМО _{чпп} (MPE _{PRF}) Вт/см ²
1	7,07 x 10 ⁻⁰⁷	150	3,03 x 10 ⁻⁰⁵
2	1,19 x 10 ⁻⁰⁶	200	3,76 x 10 ⁻⁰⁵
3	1,61 x 10 ⁻⁰⁶	250	4,45 x 10 ⁻⁰⁵
4	2,00 x 10 ⁻⁰⁶	500	7,48 x 10 ⁻⁰⁵
5	2,36 x 10 ⁻⁰⁶	1 000	1,26 x 10 ⁻⁰⁴
6	2,71 x 10 ⁻⁰⁶	1 500	1,70 x 10 ⁻⁰⁴
7	3,04 x 10 ⁻⁰⁶	2 000	2,11 x 10 ⁻⁰⁴
8	3,36 x 10 ⁻⁰⁶	2 500	2,50 x 10 ⁻⁰⁴
9	3,67 x 10 ⁻⁰⁶	5 000	4,20 x 10 ⁻⁰⁴
10	3,98 x 10 ⁻⁰⁶	10 000	7,07 x 10 ⁻⁰⁴
15	5,39 x 10 ⁻⁰⁶	15 000	9,58 x 10 ⁻⁰⁴
20	6,69 x 10 ⁻⁰⁶	20 000	1,19 x 10 ⁻⁰³
25	7,91 x 10 ⁻⁰⁶	25 000	1,41 x 10 ⁻⁰³
30	9,06 x 10 ⁻⁰⁶	30 000	1,61 x 10 ⁻⁰³
40	1,12 x 10 ⁻⁰⁵	40 000	2,00 x 10 ⁻⁰³
50	1,33 x 10 ⁻⁰⁵	50 000	2,36 x 10 ⁻⁰³
75	1,80 x 10 ⁻⁰⁵	55 000	2,54 x 10 ⁻⁰³
100	2,24 x 10 ⁻⁰⁵	100 000	2,54 x 10 ⁻⁰³

Если частота повторения импульсов лазера находится в промежутке между двумя указанными в таблице значениями, принимайте более консервативную (меньшую) величину из двух соответствующих предельных значений МДМО_{чпп} (MPE_{PRF}).

Примечание. Приведенная таблица предельных значений МДМО_{чпп} (MPE_{PRF}) рассчитана для лазеров импульсного излучения с продолжительностью импульса от 1 нс до 18 мс. Указанные в таблице значения МДМО_{чпп} (MPE_{PRF}) могут быть использованы для определения требуемых величин продолжительности импульса, обеспечивая при этом консервативный (более безопасный) результат.

Непригодность для анализа сканирующего луча. Приведенная таблица предназначена для лазеров с естественным излучением импульсного характера, таких как оптические квантовые генераторы с модуляцией добротности. Таблица непригодна для анализа сканируемых импульсов, создаваемых быстрым движением луча перед наблюдателем или воздушным судном. (Примеры: графические или орнаментные изображения на лазерных дисплеях; сканируемые изображения, используемые для анализа состояния атмосферы). Импульсы, образуемые сканирующим лучом, часто бывают весьма различными по ширине и продолжительности, и поэтому требуют более углубленного анализа.

Таблица 4. Значения поправочных коэффициентов ($M_{\text{ДМО}}^{\text{ИМП}} / M_{\text{ДМО}}^{\text{НЕПР}}$ ($M_{\text{РЕ}}^{\text{PULSED}} / M_{\text{РЕ}}^{\text{CW}}$)) для лазеров импульсного режима, излучающих в инфракрасной области спектра

Таблица используется при расчете значений $M_{\text{ДМО}}^{\text{ЧПИ}}$ ($M_{\text{РЕ}}^{\text{PRF}}$) для лазеров инфракрасного излучения (700 - 1400 нм), работающих в импульсном режиме, с длительностью импульса от 1 нс до 18 мс.

Частота повторения импульсов (Гц)	Поправочный коэффициент Для длин волн в диапазоне 700 - 1 050 нм	Поправочный коэффициент Для длин волн в диапазоне 1 050 - 1 400 нм
1	$2,8 \times 10^{-4}$	$5,5 \times 10^{-4}$
5	$9,4 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-3}$
10	$1,6 \times 10^{-3}$	$3,1 \times 10^{-3}$
15	$2,1 \times 10^{-3}$	$4,2 \times 10^{-3}$
20	$2,6 \times 10^{-3}$	$5,2 \times 10^{-3}$
25	$3,1 \times 10^{-3}$	$6,2 \times 10^{-3}$
50	$5,3 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-2}$
75	$7,1 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-2}$
100	$9,0 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-2}$
150	$1,2 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-2}$
200	$1,5 \times 10^{-2}$	$2,9 \times 10^{-2}$
250	$1,8 \times 10^{-2}$	$3,5 \times 10^{-2}$
500	$3,0 \times 10^{-2}$	$5,9 \times 10^{-2}$
1 000	$5,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-1}$
2 000	$8,0 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-1}$
3 000	$1,1 \times 10^{-1}$	$2,3 \times 10^{-1}$
4 000	$1,4 \times 10^{-1}$	$2,8 \times 10^{-1}$
5 000	$1,7 \times 10^{-1}$	$3,3 \times 10^{-1}$
10 000	$2,8 \times 10^{-1}$	$5,6 \times 10^{-1}$
15 000	$3,8 \times 10^{-1}$	$7,5 \times 10^{-1}$
20 000	$4,7 \times 10^{-1}$	$9,3 \times 10^{-1}$
21 000	$4,8 \times 10^{-1}$	$9,7 \times 10^{-1}$
22 000	$5,0 \times 10^{-1}$	1,00*
23 000	$5,2 \times 10^{-1}$	1,00
24 000	$5,4 \times 10^{-1}$	1,00
25 000	$5,5 \times 10^{-1}$	1,00
30 000	$6,3 \times 10^{-1}$	1,00
40 000	$7,9 \times 10^{-1}$	1,00
50 000	$9,3 \times 10^{-1}$	1,00
55 000	1,00*	1,00

* $M_{\text{ДМО}}$ ($M_{\text{РЕ}}$) для лазеров, работающих в импульсном режиме с ЧПИ (PRF) более 55 000 Гц, и генерирующих излучение в диапазоне длин волн 700 – 1 050 нм (или с ЧПИ (PRF) = 22 000 Гц в диапазоне 1 050 - 1 400 нм) имеют те же значения, что и для лазеров непрерывного излучения, т.е. в этих случаях поправочный коэффициент равен 1.

Чтобы определить $M_{\text{ДМО}}$ ($M_{\text{РЕ}}$) для лазера, работающего в импульсном режиме и генерирующего излучение в инфракрасной области спектра, умножьте значение $M_{\text{ДМО}}$ ($M_{\text{РЕ}}$) для лазера непрерывного излучения на поправочный коэффициент согласно этой таблице. Если частота повторения импульсов лазера находится в промежутке между двумя указанными в таблице значениями, принимайте более консервативную (меньшую) величину из двух соответствующих значений коэффициента.

Пример. Лазер генерирует инфракрасное излучение с частотой повторения импульсов (ЧПИ (PRF)) 12 000 Гц и с длиной волны 850 нм. Сначала по таблице 2 находим значение $M_{\text{ДМО}}$ ($M_{\text{РЕ}}$) для лазера непрерывного излучения с длиной волны 850 нм, которое оказывается равным $0,002 \text{ Вт/см}^2$ (см. пример 2 к таблице 2). Теперь, обратившись к вышеприведенной таблице, определяем, которая из двух правых колонок должна быть использована. В данном случае это колонка, обозначенная в шапке таблицы надписью "Для длин волн в диапазоне 700 - 1 050 нм". Поскольку частота повторения импульсов излучения рассматриваемого лазера (12 000 Гц) находится в промежутке между приведенными в таблице значениями 10 000 и 15 000 Гц, выбираем более консервативную (меньшую) величину, т.е. ЧПИ (PRF), равную 10 000 Гц, и по ней находим значение коэффициента: $2,8 \times 10^{-1}$. Следовательно, необходимый поправочный коэффициент равен 0,28. Умножая на этот коэффициент значение $M_{\text{ДМО}}$ ($M_{\text{РЕ}}$) для лазера непрерывного излучения, взятое из таблицы 2, получаем искомое значение $M_{\text{ДМО}}^{\text{ЧПИ}}$ ($M_{\text{РЕ}}^{\text{PRF}}$): $0,28 \times 0,002 \text{ Вт/см}^2 = 0,00056 \text{ Вт/см}^2 = 5,6 \times 10^{-4} \text{ Вт/см}^2$.

**Таблица 5. Значения поправочных коэффициентов для лазеров
непрерывного излучения в оптической области спектра**

Таблица используется только для лазеров с излучением в диапазоне (400 - 700 нм).

Длина волны (нм)	Коэффициент оптической коррекции (КОК (VCF))
400	$4,0 \times 10^{-4}$
410	$1,2 \times 10^{-3}$
420	$4,0 \times 10^{-3}$
430	$1,16 \times 10^{-2}$
440	$2,30 \times 10^{-2}$
450	$3,80 \times 10^{-2}$
460	$5,99 \times 10^{-2}$
470	$9,09 \times 10^{-2}$
480	$1,391 \times 10^{-1}$
490	$2,079 \times 10^{-1}$
500	$3,226 \times 10^{-1}$
510	$5,025 \times 10^{-1}$
520	$7,092 \times 10^{-1}$
530	$8,621 \times 10^{-1}$
540	$9,524 \times 10^{-1}$
550	$9,901 \times 10^{-1}$
555	$1,0 \times 10^0$ (КОК (VCF) =1)
560	$9,901 \times 10^{-1}$
570	$9,524 \times 10^{-1}$
580	$8,696 \times 10^{-1}$
590	$7,576 \times 10^{-1}$
600	$6,329 \times 10^{-1}$
610	$5,025 \times 10^{-1}$
620	$3,817 \times 10^{-1}$
630	$2,653 \times 10^{-1}$
640	$1,751 \times 10^{-1}$
650	$1,070 \times 10^{-1}$
660	$6,10 \times 10^{-2}$
670	$3,21 \times 10^{-2}$
680	$1,70 \times 10^{-2}$
690	$8,2 \times 10^{-3}$
700	$4,1 \times 10^{-3}$

Чтобы определить оптически скорректированную мощность для конкретной длины волны излучения, умножьте величину средней мощности лазера на значение коэффициента оптической коррекции (КОК (VCF)) для этой волны, найденное по вышеприведенной таблице. Если эта длина волны находится в промежутке между двумя указанными в таблице значениями, выберите более консервативную (большую) величину из двух соответствующих значений коэффициента оптической коррекции (КОК (VCF)).

Пример 1. Лазер с активным материалом из иттриито-алюминиевого граната (ИАГ (YAG)), генерирует непрерывное излучение удвоенной частоты, мощностью 10 Вт, с длиной волны 532 нм. Как видно из таблицы, значение 532 находится между значениями 530 и 540, поэтому выбираем более консервативную (большую) величину, т. е. 540 нм, и определяем соответствующий ей коэффициент оптической коррекции (КОК (VCF)): $9,524 \times 10^{-1}$. Умножаем вышеуказанное значение средней мощности лазера 10 Вт на коэффициент 0,9524 и получаем искомую величину оптически скорректированной мощности, равную 9,524 Вт.

Пример 2. 18-ваттный аргонный лазер генерирует лучи с длинами волн 514 нм и 488 нм, мощностью, соответственно, 10 и 8 Вт, в обоих случаях в режиме непрерывного излучения. Расчет выполняется отдельно для каждой из этих длин волн, и результирующие значения оптически скорректированной мощности складываются:

Мощность 10 Вт, длина волны 514 нм. Как видно из таблицы, число 514 является промежуточным между числами 510 и 520, поэтому выбираем более консервативный (большой) коэффициент оптической коррекции (КОК (VCF)), соответствующий длине волны 520 нм: $7,092 \times 10^{-1}$. Умножая на полученное значение КОК (VCF), равное 0,7092, величину средней мощности излучения 10 Вт, определяем искомое значение оптически скорректированной мощности - 7,092 Вт.

Мощность 8 Вт, длина волны 488 нм. Как видно из таблицы, число 488 является промежуточным между числами 480 и 490, поэтому выбираем более консервативный (большой) коэффициент оптической коррекции (КОК (VCF)), соответствующий длине волны 490 нм: $2,079 \times 10^{-1}$. Умножая на полученное значение КОК (VCF), равное 0,2079, величину средней мощности излучения 8 Вт, определяем искомое значение оптически скорректированной мощности - 1,6632 Вт.

Теперь складываем оба значения оптически скорректированной мощности: $7,092 + 1,6632 = 8,7552$. В этом примере 18-ваттный лазер обладает оптически скорректированной мощностью, равной всего 8,7552 Вт. *Заметьте, что 10-ваттный лазер на иттрио-алюминиевом гранате (ИАГ (YAG)), рассмотренный в примере 1, воспринимается зрением как более яркий ($W_{ОСМН(VCF)} = 9,5 \text{ Вт}$), чем 18-ваттный аргонный лазер ($W_{ОСМН(VCF)} = 8,8 \text{ Вт}$).*

Метод расчета. Приведенные в таблице значения коэффициента оптической коррекции (C_F) определены по кривой эффективного фотопического (дневного) зрения со стандартными характеристиками, нормализованной Международной комиссией по освещению (CIE). Фотометрическая яркость ($\text{лм} \cdot \text{см}^{-2}$) равна действительной облученности, умноженной на C_F и константу 683. Эффективная облученность равна действительной (измеренной) облученности, умноженной на C_F . Эффективная облученность ($\text{Вт} \cdot \text{см}^{-2}$), умноженная на $683 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, равна освещенности ($\text{лм} \cdot \text{см}^{-2}$). Величина "оптически скорректированная мощность", деленная на площадь поперечного сечения лазерного луча, представляет собой "эффективную освещенность", использованную в настоящем руководстве.

Приложение В

РАПОРТ ОБ ИНЦИДЕНТЕ, СВЯЗАННОМ С ПРЕДПОЛАГАЕ- МЫМ ЛАЗЕРНЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ, И ОПРОСНЫЙ ЛИСТ О ПРЕДПОЛАГАЕМОМ ЛАЗЕРНОМ ОБЛУЧЕНИИ

РАПОРТ ОБ ИНЦИДЕНТЕ, СВЯЗАННОМ С ПРЕДПОЛАГАЕМОМ ЛАЗЕРНЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ

Приведенная ниже форма бланка может быть использована местной службой управления воздушным движением (УВД (АТС)) или администрацией авиакомпании для рапорта о предполагаемом лазерном облучении. По заполнении бланк следует немедленно направить в компетентный орган власти для проведения дальнейшего расследования инцидента.

ФИО (полностью) _____ возраст _____

Должность (КВС, второй пилот, диспетчер, и т. д.) _____ телефон _____

Средство коррекции зрения, использовавшееся в момент инцидента (очки, контактные линзы) _____

Тип воздушного судна _____

Опознавание (ID) или позывной (CS) _____

Дата и время инцидента (UTC) _____

Дата и время заполнения бланка (UTC) _____

Факторы внешней среды:

Погодные условия _____

МВП/ПМУ (VMC/IMC) _____

Уровень наружной освещенности (день, ночь, солнечно, рассвет, сумерки, звездное небо, лунный свет, и т. д.) _____

Место инцидента:

В районе (аэродром/город/аэронавигационное средство) _____

Радиал и расстояние _____

Этап полета _____

Тип маневра захода на посадку или процедуры взлета _____

Курс/примерное значение курса, если выполнялся разворот _____

Высота (над поверхностью земли) _____ (над средним уровнем моря) _____

Углы крена и тангажа ВС _____

Направление луча:

Попавший в глаз(а) свет исходил спереди или сбоку? _____

Описание света:

Цвет _____

Характер излучения (непрерывное/мелькание/импульсы) _____

Источник света (стационарный или движущийся) _____

По Вашему мнению луч намеренно сопровождал ВС в полете? _____

Относительная мощность луча (лампа-вспышка, прожектор, солнечный свет) _____

Продолжительность облучения (секунды) _____

Наблюдался ли луч до момента инцидента? _____

Местоположение источника излучения (относительно географического места ВС) _____

Панель остекления, через которую луч попал в пилотскую кабину:

Левая левая передняя центральная правая передняя правая другая _____

Превышение луча над горизонталью (градусы) _____

Эффект облучения:

Опишите зрительные*/психологические/физические последствия облучения _____

Продолжительность последствий воздействия света на зрение (секунды/минуты/часы/дни) _____

Намерены ли Вы обратиться к врачу? _____

Примечание. Рекомендуется обратиться к врачу даже в случае самой незначительной симптоматики.

Последствия облучения на характер исполнения необходимых процедур при пилотировании ВС: _____

*** Примеры обычных последствий облучения на зрение.**

Остаточное изображение. Изображение, остающееся в поле зрения после воздействия на глаза яркого света.

Темное пятно. Временная или длительная потеря восприятия определенной части поля зрения.

Кратковременная слепота. Утрата способности видеть (на короткий или продолжительный период времени), вызванная воздействием яркого света на глаз и сохраняющаяся после прекращения освещения.

Ослепление. Временное нарушение зрительного восприятия, вызванное появлением яркого света (например, дальнего света фар встречного автомобиля) в поле зрения наблюдателя. Ослепление не носит характера биологического поражения зрения и продолжается лишь в течение присутствия яркого света в поле зрения наблюдателя.

ОПРОСНЫЙ ЛИСТ О ПРЕДПОЛАГАЕМОМ ЛАЗЕРНОМ ОБЛУЧЕНИИ

Настоящий опросный лист может заполняться представителем администрации при проведении встречи с лицами, подвергшимися предполагаемому лазерному облучению. Полученная информация будет использована при последующем расследовании инцидента и представляет собой важные медицинские и статистические данные для пересмотра властных и принудительных установлений, связанных с новыми областями применения лазерного излучения в аспекте угрозы безопасности полетов. По заполнении опросный лист следует немедленно направить в компетентный авиационный орган власти.

1. Наблюдал ли данный луч света кто-либо еще, кроме вас? _____
2. Какого цвета (цветов) был луч? Менялась ли окраска луча в процессе облучения? _____
3. Возник ли свет внезапно, и становился ли он ярче по мере приближения к источнику света? _____

4. Был ли световой поток непрерывным или мерцающим? _____
Если мерцающим, то насколько частым и равномерным было мерцание? _____
5. Кабина (или салон) вашего ВС оказалась полностью освещенной? _____
6. Как бы вы описали яркость света? _____
Была ли облученная поверхность равномерно освещена или был какой-то один более ярко освещенный участок? _____
7. Пытались ли вы выполнить маневр уклонения? _____
Если да, то сопровождал ли вас луч во время попытки от него отвернуть? _____
Насколько удачной оказалась попытка избежать облучения? _____
8. Известен ли вам источник излучения? _____
9. Насколько далеко по вашей оценке находился источник излучения от вашего местоположения? _____
Был ли источник излучения перемещающимся? _____
10. Находилось ли что-либо между источником света и вашими глазами, например, лобовое стекло, очки, контактные линзы и пр.? _____
Не мог ли какой-либо из этих предметов способствовать отрицательному воздействию облучения? _____
11. Исходил ли свет непосредственно от источника, или был отраженным от какой-то поверхности? _____
Не было ли множественных источников света? _____
12. Ваш взгляд был направлен непосредственно на источник света или в сторону от него? _____
13. Насколько долгим было облучение? _____
Казалось ли вам, что луч отслеживает траекторию ВС, или контакт с лучом был случайным? _____
14. В какое время суток произошел инцидент? _____
15. Какова была видимость? _____
Каковы были атмосферные условия - ясно, облачно, дождь, туман, хмуро, солнечно? _____

16. Какие полетные процедуры вы выполняли в момент облучения? _____

Вследствие облучения эти процедуры не были выполнены совсем, были выполнены с худшим качеством или свет просто был раздражающим? _____

17. Как действовало облучение на ваше зрение (возникновение остаточного изображения, темного пятна, кратковременной слепоты или ослепления*)? _____

18. Насколько долго продолжались возникшие после облучения симптомы? _____

Сохранились ли какие-то из симптомов (слезоточивость, светочувствительность, головные боли) до настоящего времени? _____

19. Трогали или протирали ли вы руками глаза при облучении? _____

20. Обращались ли вы к окулисту после инцидента? _____

Если да, то когда, и кто производил осмотр? _____

Каковы результаты визита к врачу? _____

21. Доложили ли вы об инциденте? _____

Если да, то кому (службе УВД (АТС), медицинскому персоналу, офицеру службы лазерной безопасности и т. д.) и когда? _____

*** Примеры обычных последствий облучения на зрение.**

Остаточное изображение. Изображение, остающееся в поле зрения после воздействия на глаза яркого света.

Темное пятно. Временная или длительная потеря восприятия определенной части поля зрения.

Кратковременная слепота. Утрата способности видеть (на короткий или продолжительный период времени), вызванная воздействием яркого света на глаз и сохраняющаяся после прекращения освещения.

Ослепление. Временное нарушение зрительного восприятия, вызванное появлением яркого света (например, дальнего света фар встречного автомобиля) в поле зрения наблюдателя. Ослепление не носит характера биологического поражения зрения и продолжается лишь в течение присутствия яркого света в поле зрения наблюдателя.

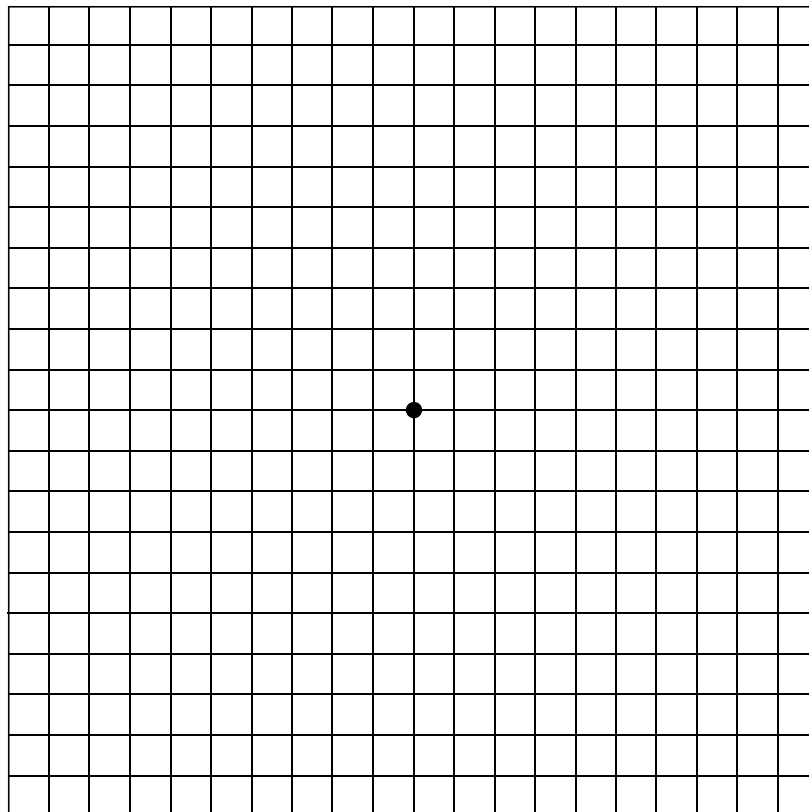
Приложение С

ТЕСТИРОВАНИЕ ПО СЕТКЕ АМСЛЕРА

Тест по сетке Амслера разработан для определения дефектов в центральном поле зрения глаза, соответствующим поражению сетчатки на участке в пределах 50 микрометров.

Размеры клеток приведенной ниже сетки подобраны так, что клетки различимы на расстоянии 28 - 30 см, т.е. как при обычном тесте на чтение. На этом расстоянии посредством сетки выявляются отклонения от нормы в поле зрения пациента, ограниченного 20°, причем каждая маленькая клетка является эквивалентом 1°. Перед началом тестирования по сетке, необходимо:

- а) точно откорректировать рефракцию проверяемого глаза на этом расстоянии;
- б) убедиться, что сетка достаточно ярко и равномерно освещена, как при тестировании на чтение;
- с) не прибегать к средствам расширения зрачка или иной офтальмоскопии непосредственно перед процедурой, и
- д) второй глаз должен быть закрыт, преимущественно с помощью установки преграды.



Попросите пациента не отрываясь сосредоточенно смотреть на точку в центре сетки и задайте ему следующие вопросы. Запишите все ответы пациента и пусть пациент тщательно отметит на поле сетки любые отклонения в зрительном восприятии.

1. Видите ли вы точку в центре квадратного поля сетки?
2. Удерживая взгляд на точке в центре, видите ли вы все четыре угла большого квадрата сетки? Другими словами, видите ли вы полностью весь квадрат?
3. Удерживая взгляд на точке в центре, видите ли вы все пустые квадратики сетки? Существуют ли какие-либо разрывы образующих квадратики линий, в виде пустых мест или пятен?
4. Удерживая взгляд на точке в центре, считаете ли вы, что все горизонтальные и вертикальные линии сетки прямые и параллельные? Другими словами, являются ли все маленькие квадратики равными по размерам и расположенными абсолютно равномерно?
5. Удерживая взгляд на точке в центре, не наблюдаете ли вы какого-либо перемещения определенных линий сетки? Не видите ли какого-то дрожания или волнообразования, сверкания или цветовых оттенков? Если да, то где?
6. Удерживая взгляд на точке в центре, на каком расстоянии от нее вы наблюдаете помутнение или искажение изображения? Сколько маленьких пустых квадратиков вы можете указать между местом помутнения или искажения изображения и центральной точкой сетки, на которой зафиксирован ваш взгляд?